



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Unidad de Posgrado

**Desarrollo de un polímero biodegradable a partir de
almidón de semilla de ataco, *Amaranthus quitensis* L.**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias

Ambientales

AUTOR

Juan Carlos GONZÁLES GARCÍA

ASESOR

María Clarisa TOVAR TORRES DE AGUILAR

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Gonzáles, J. (2018). *Desarrollo de un polímero biodegradable a partir de almidón de semilla de ataco, Amaranthus quitensis L.* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los veintinueve días del mes de setiembre del 2018, siendo las 15:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 555/UPG-FIGMMG/2018 del 21 de setiembre del 2018, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«DESARROLLO DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE ATACO, *Amaranthus quitensis* L.»

Que, presenta el Mag. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA, para optar el GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N.º 05626-FIGMMG-2013 del 25 de julio del 2013, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Doctorado».

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole a la graduando la siguiente calificación:


..... MUY BUENO (17)

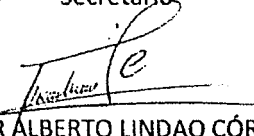
Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES al Mag. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA.


Siendo las 16:00 horas, se dio por concluido al acto académico


DR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ
Presidente


DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
Secretario


DR. RUBÉN GILBERTO RODRÍGUEZ FLORES
Miembro


DR. VÍCTOR ALBERTO LINDAO CÓRDOVA
Miembro


DRA. MARÍA CLARISA TOVAR TORRES DE AGUILAR
Asesora

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado enteramente a Camila Letizia.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, a la asesoría de la Doctora María Tovar, a mis padres, familia y a todas las personas que han colaborado para la culminación de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
LISTA DE CUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Situación Problemática.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.3. Justificación Teórica.....	4
1.4. Justificación Práctica.....	5
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos Específicos.....	5
1.6. Hipótesis General.....	6
1.7. Hipótesis Específicas.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Marco filosófico.....	7
2.2. Marco legal.....	8
2.3. Antecedentes de investigación.....	10

2.4. Bases Teóricas.....	16
2.4.1. El Amaranto.....	16
2.4.2. <i>Amaranthus quitensis</i> L.....	25
2.4.3. Polímeros.....	32
2.4.5. Biopolímeros.....	37
2.4.5. El almidón.....	39
3. METODOLOGÍA.....	43
3.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	43
3.2. Unidad de Análisis.....	43
3.3. Población de estudio.....	43
3.4. Tamaño de muestra.....	43
3.5. Selección de muestra.....	44
3.6. Técnicas de recolección de datos.....	44
3.7. Selección de plantas de ataco.....	45
3.8. Obtención de semillas de ataco.....	45
3.9. Obtención de harina de ataco.....	46
3.10. Análisis proximal de harina de ataco.....	46
3.11. Metodología de extracción de almidón.....	61
3.12. Medición de propiedades del almidón.....	64
3.12.1. Análisis proximal del almidón obtenido.....	64
3.12.2. Determinación de amilosa y amilopectina.....	64
3.12.3. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad.....	66
3.12.4. Temperatura de Gelatinización del almidón.....	67

3.13. Dosificación de aditivos.....	68
3.14. Determinación de propiedades importantes en el polímero.....	70
3.14.1. Ensayos de Absorción de agua.....	70
3.14.2. Ensayos de estabilidad térmica del polímero.....	71
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	72
4.1. Análisis interpretación y discusión de resultados.....	72
4.2. Pruebas de Hipótesis.....	103
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS	
BIBLIOGRÁFICAS.....	108
ANEXOS.....	113

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica del amaranto.....	18
Cuadro 2. Clasificación de los amarantos.....	22
Cuadro 3. Composición de los amarantos.....	23
Cuadro 4. Composición del amaranto y otros cereales.....	24
Cuadro 5. Taxonomía del <i>Amaranthus quitensis</i> spp.....	27
Cuadro 6. Costos de producción 1 ha de ataco tecnología INIAP.....	31
Cuadro 7. Análisis proximal del ataco.....	32
Cuadro 8. Proceso desarrollo polímero biodegradable.....	45
Cuadro 9. Análisis de varianza selección método de extracción.....	64
Cuadro 10. Aditivos para potenciar propiedades poliméricas.....	69
Cuadro 11. Análisis de varianza para dosificación de aditivos.....	69
Cuadro 12. Análisis proximal de la harina de ataco.....	73
Cuadro 13. Rendimiento de extracción método 1.....	74
Cuadro 14. Rendimiento de extracción método 2.....	74
Cuadro 15. Análisis de varianza rendimiento de almidón.....	74
Cuadro 16. Prueba DMS al 5% rendimiento producción almidón.....	75
Cuadro 17. Rendimiento en producción almidón otras plantas.....	75
Cuadro 18. Análisis proximal del almidón extraído por dos métodos....	76
Cuadro 19. Análisis de varianza para la humedad del almidón.....	76
Cuadro 20. Prueba DMS al 5% para humedad del almidón.....	77
Cuadro 21. Análisis de varianza carbohidratos del almidón.....	77
Cuadro 22. Prueba DMS al 5% para carbohidratos del almidón.....	77
Cuadro 23. Análisis de varianza para la fibra del almidón.....	78
Cuadro 24. Prueba DMS al 5% para fibra de almidón	78
Cuadro 25. Análisis de varianza para cenizas del almidón	79
Cuadro 26. Prueba DMS al 5% para cenizas del almidón	79
Cuadro 27. Análisis de varianza para proteínas del almidón	79
Cuadro 28. Prueba DMS al 5% para proteínas del almidón.....	80
Cuadro 29. Análisis de varianza para porcentaje de almidón.....	80
Cuadro 30. Prueba DMS al 5% para porcentaje de almidón.....	80
Cuadro 31. Relación amilosa-amilopectina, extracción con agua.....	81
Cuadro 32. Relación amilosa-amilopectina, extracción con álcali.....	81

Cuadro 33. Análisis de varianza % de amilopectina del almidón.....	81
Cuadro 34. Prueba DMS al 5% de % amilopectina del almidón.....	82
Cuadro 35. Análisis de varianza % de amilosa del almidón.....	83
Cuadro 36. Prueba DMS al 5% para % de amilosa del almidón.....	83
Cuadro 37. Propiedades funcionales de almidón extraído con agua.....	83
Cuadro 38. Propiedades funcionales de almidón extraído con álcali.....	84
Cuadro 39. Análisis de varianza para índice de solubilidad en agua.....	85
Cuadro 40. Prueba DMS al 5% para índice de solubilidad del agua.....	85
Cuadro 41. Análisis de varianza para índice de absorción de agua.....	86
Cuadro 42. Prueba DMS al 5% para índice de absorción de agua.....	86
Cuadro 43. Análisis de varianza para temperatura gelatinización.....	87
Cuadro 44. Prueba DMS al 5% para temperatura de gelatinización.....	87
Cuadro 45. Combinaciones experimentales.....	89
Cuadro 46. Ensayos físicos y de resistencia del polímero.....	90
Cuadro 47. Ensayos físicos y de resistencia del polímero.....	91
Cuadro 48. Ensayos físicos y de resistencia del polímero.....	92
Cuadro 49. Promedio de ensayos de resistencia del polímero.....	92
Cuadro 50. Ensayos de biodegradabilidad.....	93
Cuadro 51. Ensayos de biodegradabilidad.....	94
Cuadro 52. Ensayos de biodegradabilidad.....	95
Cuadro 53. Promedio de ensayos de biodegradabilidad.....	96
Cuadro 54. Análisis de varianza para propiedades del polímero.....	98
Cuadro 55. Prueba DMS al 5% para aditivos (Glicerina).....	99
Cuadro 56. Prueba DMS al 5% para aditivos (PVA).....	99
Cuadro 57. Prueba DMS al 5% para aditivos (Glicerina-PVA).....	100
Cuadro 58. Prueba DMS al 5% para aditivos (Glicerina-HEC).....	100
Cuadro 59. Prueba DMS al 5% para aditivos (Glicerina-HEC).....	101
Cuadro 60. Prueba DMS al 5% para aditivos (Glic-PVA-HEC).....	102
Cuadro 61. Análisis proximal ataco vs otras plantas.....	104

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Planta de amaranto.....	27
Figura 2	Cultivo de ataco.....	28
Figura 3	Gránulos de almidón al microscopio.....	41
Figura 4	Estructura de la amilosa.....	41
Figura 5	Estructura de la amilopectina.....	41
Figura 6	Estructura del almidón.....	41
Figura 7	Semillas de ataco.....	72
Figura 8	Harina de ataco.....	73

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se elaboró un polímero biodegradable a partir de las semillas de ataco, *Amaranthus quitensis* L., para lo cual fue necesario obtener en primera instancia almidón de las semillas del mismo, definiéndose en la primera fase del estudio el método de extracción, resultado el más adecuado el que utiliza un álcali como solvente, luego se realizó su análisis proximal para obtener información de sus características. Posteriormente aplicando un diseño experimental de bloques completamente al azar tomando en grupos de tres los factores controlables, se sometió al almidón a variaciones de sus condiciones naturales de acuerdo al diseño planteado. Utilizando dosificaciones de diferentes sustancias químicas que cumplen la función de plastificantes, extensores, humectantes, espesantes, lubricantes y desmoldantes tales como: la glicerina, alcohol polivinílico PVA, y hidroxietilcelulosa HEC, en diferentes proporciones, se obtuvieron polímeros con diferentes características, para obtener láminas del producto fue necesario utilizar el equipo usado comúnmente para polímeros convencionales. El proceso experimental arrojó ciertas muestras de polímeros con características consideradas como adecuadas, en los mismos se midieron sus propiedades físico-mecánicas evidenciándose en algunos buena elasticidad, resistencia al esfuerzo y elongación así también como dureza y adecuada densidad, así también, se efectuaron ensayos de estabilidad frente al agua y a gradientes de temperatura, siendo más resistentes a exposiciones al agua en períodos cortos de tiempo ya que frente a incrementos de temperatura se mostraron quebradizos. Los polímeros obtenidos por sus características tienen aplicaciones potenciales tales como: recubrimiento de tabletas y encapsulado de medicamentos, agroquímicos, recubrimientos de alimentos y balanceados para consumo de ganado y mascotas, así como en combinación con polímeros sintéticos en producción de bolsas y botellas que por su origen natural son de fácil y rápida biodegradación resultando inocuos para el ambiente en caso de ser desechados.

PALABRAS CLAVE: polímeros biodegradables, extracción, almidón, ataco, *Amaranthus quitensis* L.

ABSTRACT

In the present research, a biodegradable polymer was elaborated from the seeds of ataco, *Amaranthus quitensis* L., for which it was necessary to obtain first starch from the seeds thereof, defining in the first phase of the study the method of extraction, the most appropriate result is that which uses an alkali as a solvent, then its proximal analysis was performed to obtain information on its characteristics. Subsequently, applying a completely randomized block experimental design, taking the controllable factors in groups of three, the starch was subjected to variations of its natural conditions according to the proposed design. Using dosages of different chemical substances that fulfill the function of plasticizers, extenders, humectants, thickeners, lubricants and release agents such as: glycerin, polyvinyl alcohol PVA, and HEC hydroxyethylcellulose, in different proportions, polymers with different characteristics were obtained, to obtain sheets of the product it was necessary to use the equipment commonly used for conventional polymers. The experimental process yielded certain samples of polymers with characteristics considered as adequate, in them the physical-mechanical properties were measured, evidencing in some good elasticity, resistance to stress and elongation, as well as hardness and adequate density, stability against water and temperature gradients, being more resistant to water exposures in short periods of time as compared to increases in temperature were brittle. The polymers obtained by their characteristics have potential applications such as: coating of tablets and encapsulation of medicines, agrochemicals, food coatings and balanced for consumption of livestock and pets, as well as in combination with synthetic polymers in production of bags and bottles, which Its natural origin and rapid biodegradation are harmless to the environment if it is discarded.

KEY WORDS: biodegradable polymers, extraction, starch, ataco, *Amaranthus quitensis* L.

INTRODUCCIÓN

Como alternativa a la síntesis de polímeros que tienen su origen en el petróleo han ganado mucho espacio los polímeros de origen vegetal que son fácilmente biodegradables, producidos a partir de almidones procedentes de plantas, biomoléculas energéticas presentes en diferentes grupos de frutos y semillas. Todos los almidones están compuestos estructuralmente por dos polisacáridos bien diferenciados: amilosa (monómero de glucosa de cadena lineal) no soluble en agua y amilopectina (monómeros de glucosa de cadena ramificada) soluble en agua caliente.

Los almidones tienen múltiples usos y aplicaciones entre ellas destacan: gelificantes, espesantes, aglutinantes, agentes para acabados, extensores, sustratos de fermentación, adhesivos, cosméticos, productos farmacéuticos, etc. Aproximadamente el 25% de sus usos están relacionados con la industria de los alimentos y el 75% de sus aplicaciones a nivel industrial en especial en la fabricación de papel, cartón, textiles y adhesivos. (IFAD, FAO 2004)

Actualmente se utiliza también el almidón en combinación con polímeros sintéticos para la producción de plásticos biodegradables. A nivel industrial las principales fuentes de almidón son: el maíz, papa, yuca, arroz, pero existen otras plantas que pueden funcionar gracias a su alto contenido de carbohidratos, como es el caso de los amarantos específicamente la especie de *Amaranthus quitensis* L., conocido vulgarmente como ataco, endémica de la región Andina ecuatoriana, se trata de una planta que crece con facilidad, poco demandante en cuanto a agua y nutrientes y se adapta a diferentes pisos

climáticos, que hoy en día se la subutiliza reduciendo su utilidad solamente a la preparación de infusiones bebibles y en menor escala para la extracción de sus pigmentos de color carmesí. (Peralta I, 2012)

En el Ecuador no se ha extraído almidón de las plantas de ataco sin embargo, se adapta perfectamente lo aplicado por Fernández en 1998, quien describe dos métodos para extracción de almidón de otras plantas, utilizando agua y álcalis siendo estos de alto rendimiento y bajo costo. Igualmente, Medina, Paredes y otros investigadores, en el año 2010 lo referencian en su evaluación de métodos de extracción de almidón de residuos de mango.

Varios procesos posibilitan la extracción de almidón de las semillas de ataco y con la adición de sustancias químicas o naturales adecuadas dan origen a un polímero natural cuyas características y propiedades podrían ser aprovechadas y modificarse en función de las necesidades, sin duda estamos en el siglo en el que probablemente muchos países del mundo agoten sus reservas de petróleo y será necesario contar con alternativas en la producción de polímeros que se degraden con facilidad y que minimicen el daño ambiental.

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La demanda de alternativas al uso de plásticos elaborados a base de derivados de petróleo es una necesidad creciente y si bien los artículos fabricados a partir de plásticos solucionan muchas necesidades, dejan una gran carga de contaminantes en todos los sistemas naturales, incluso en los ecosistemas más recónditos, misma que persiste durante largos periodos de tiempo. (Stevens, 2008)

El siglo XX ha sido testigo del crecimiento de la industria petroquímica responsable de la masificación de la producción de artículos de todo tipo, la

problemática generada debido a su uso intensivo radica básicamente en la poca biodegradabilidad, alta recalcitrancia.

Debido a que son macromoléculas de gran estabilidad estructural son resistentes a las agresiones naturales del medio ambiente. Los envases de plástico poseen corta vida útil y generan grandes volúmenes de desechos. Anualmente a nivel mundial se generan más de 150 millones de toneladas y de este total alrededor del 30% se usa en empaques que cuando son desechados en el mejor de los casos van a parar en un relleno sanitario donde descansará al menos 100 años.

Según el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE, 2012), en Ecuador se desechan alrededor de 3600 toneladas de basura diaria y el 28% son objetos plásticos, en un año el país genera más de 400 millones de botellas. Según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC, 2012), solo 17,5% de los hogares ecuatorianos clasifican los desechos plásticos, la incidencia del reciclaje ciudadano es muy baja. Los plásticos son peligrosos a lo largo de todo su ciclo de vida.

Del total de petróleo extraído en el mundo, el 5% se destina a la industria del plástico, el ritmo al que se lo consumen las reservas garantizan su provisión solo para los próximos 50 años si lo seguimos consumiendo al ritmo actual. (Stevens, 2008)

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. GENERAL

¿Cómo obtener un polímero biodegradable a partir de almidón de semillas de ataco, *Amaranthus quitensis* L.?

1.2.2. ESPECÍFICOS

- 1.2.2.1. ¿Qué proceso es el más adecuado para la obtención del almidón de semillas de ataco?
- 1.2.2.2. ¿Qué propiedades físico-químicas posee el almidón obtenido a partir de las semillas de ataco?
- 1.2.2.3. ¿Cuáles son los aditivos requeridos para alcanzar un polímero con características deseables?
- 1.2.2.4. ¿Cómo se comporta el polímero sometido a pruebas mecánicas y de estabilidad ante el agua y calor?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Encontrar una alternativa a la utilización de polímeros de origen petrolífero y contribuir de forma directa a la protección ambiental es una motivación imperante frente a la problemática ambiental generada en todos los sistemas naturales.

Contribuir con el decidido programa de cambio de la matriz energética que el gobierno del Ecuador promueve al evitar la explotación y consumo de petróleo para la elaboración de polímeros sintéticos requeridos para la industria.

La biodegradabilidad de los plásticos aumenta cuando en su formulación se incluyen polímeros de origen vegetal que aceleran los procesos naturales de degradación. El petróleo es un recurso natural no renovable que en Ecuador se explota desde los años 70's sus reservas están próximas agotarse lo cual implica que los costos de sus derivados estén elevándose permanentemente, el país no se autoabastece de este tipo materias primas industrializadas esto desencadenará una serie de encarecimientos de dichos materiales.

Finalmente, los costos de producción de una ha de *Amaranthus quitensis* L., resulta bastante económico y se adapta alturas que van desde los 1000 hasta los 3000 m.s.n.m. a lo largo de toda la región andina ecuatoriana., las potencialidades de este recurso natural aún no han sido utilizadas con fines diferentes a la alimentación. (Peralta, E. 2012.), conocer más acerca de sus alternativas de uso sin duda, aportan a la ciencia.

1.4. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

La determinación de una metodología para extraer almidón de las semillas de ataco y el posterior desarrollo de un proceso para la obtención de un polímero biodegradable sin duda marcan la posibilidad de contribuir con información práctica para su producción a escala de laboratorio y marcará una pauta para una producción a nivel industrial ya que los procesos se describen de tal manera que puedan ser replicados por otros investigadores o interesados. Se propone también una nueva utilidad y aplicación que se puede dar a esta planta rica en carbohidratos a más de los usos convencionales.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el proceso para el desarrollo de un polímero biodegradable a partir de almidón de semillas de ataco.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.5.2.1. Determinar el método más idóneo para la obtención de almidón a partir de semillas de ataco.

- 1.5.2.2. Caracterizar física y químicamente al almidón obtenido a partir de semillas de ataco.
- 1.5.2.3. Dosificar los aditivos necesarios para que el almidón adquiera características deseables de polímero biodegradable.
- 1.5.2.4. Determinar las propiedades físico-mecánicas de interés del polímero obtenido y su estabilidad frente a gradientes de temperatura y frente al agua.

1.6. HIPÓTESIS GENERAL

El desarrollo de un polímero biodegradable a partir de almidón de semillas de ataco está relacionado con los procesos utilizados.

1.7. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- 1.7.1. El método más idóneo para la obtención de almidón a partir de semillas de ataco es el de extracción con álcalis.
- 1.7.2. Las características físico-químicas del almidón obtenido a partir de las semillas de ataco son similares a las de otras plantas.
- 1.7.3. Las características del polímero resultante dependen de la dosis de aditivos.
- 1.7.4. Las propiedades físico-químicas y mecánicas del polímero obtenido y su estabilidad frente a cambios de temperatura y frente al agua determinan su biodegradabilidad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO FILOSÓFICO

El fundamento filosófico del presente trabajo invita a enfrentar nuevos retos y desafíos de la ciencia para ser útiles a nuestra sociedad cambiando nuestra realidad natural y social con la cual interactuamos no solo para explicarla sino para transformarla, considerando los principios del saber, saber hacer, saber ser, aprender a convivir, aprender a emprender, aprender a conservar. (UNESCO, 2013)

Enmarcado también en la nueva constitución, vigente desde el 2008, se reconfigura el rol del Estado potenciado su participación en cada una de las áreas del país, especialmente en la producción, en la ciencia y tecnología, en la educación y en la salud. Serán las estrategias VII (Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global), X (Impulsar la transformación de la matriz productiva y cambio de la Matriz Energética), con la intención del cambio de la producción petrolera como pilar energético.

En tal virtud, la presente investigación, procura un balance entre los desarrollos: ambiental, social, económico, que a nivel mundial se lo ha denominado desarrollo sustentable y que a nivel del Ecuador se lo ha plasmado en Sumak Kawsay recopilado en el Plan Nacional del Buen Vivir

2013-2017 en el cual se trazan estrategias de desarrollo y objetivos de planificación.

El desarrollo social, propone el conocimiento de la problemática en base de las necesidades del entorno, la orientación de su servicio social como apoyo para el desarrollo de la colectividad, su interacción con distintos sectores relacionados y su incorporación al desarrollo con la finalidad de sustentar la condición económica de nuestra sociedad.

El desarrollo ecológico, dimensiona su compromiso con la conservación del ambiente y la biodiversidad, implica el uso racional de recursos naturales y la posibilidad de utilizar materiales alternativos de menor impacto ambiental.

2.2. MARCO LEGAL

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador en sus artículos.

- **Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.
- **Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.
- **Art. 66** numeral 27 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce y garantiza a las personas el derecho a vivir un ambiente

sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación y armonía con la naturaleza.

- **Art. 276** numeral 4 de la Constitución de la República del Ecuador, señala que el régimen de desarrollo tendrá como uno de sus objetivos el de recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

2.2.2. Ley de Gestión Ambiental

- **Art.2.-** Sujeta a principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas sustentables, respeto a culturas y prácticas tradicionales.
- **Art.3.-** El proceso de G.A. se orienta en los principios generales del Desarrollo Sustentable.
- **Art. 28.-** Toda persona natural o jurídica tiene derecho a participar en la gestión ambiental, a través de los mecanismos que para el efecto establezca el Reglamento, entre los cuales se incluirán consultas, audiencias públicas, iniciativas, propuestas o cualquier forma de asociación entre el sector público y el privado.

2.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el Ecuador, según lo revela el trabajo de investigación titulado EL AMARANTO EN EL ECUADOR “Estado del Arte”, realizado por Eduardo Peralta, publicado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en el año 2012 y que reúne un compendio de trabajos, investigaciones, tesis, proyectos, etc., relacionados con el Amaranto se ha podido evidenciar que la utilización del mismo ha sido mayoritariamente con fines alimenticios aprovechando las bondades de sus componentes; también ha sido utilizado en proyectos comunitarios en la elaboración de productos alimenticios a base de Amaranto tales como barras energéticas, galletas, pan, pasteles etc.; se ha extraído sus pigmentos naturales en especial para la industria alimentaria; ancestralmente y hasta nuestros días también se lo utiliza para la elaboración de bebidas e infusiones; y en la actualidad también se utiliza la planta de Amaranto con fines ornamentales.

En 1986, se crea el **Programa de Cultivos Andinos** en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP. Entre el año 1986 y 1990 se introduce germoplasma y variedades mejoradas desde Perú, Bolivia y otros países de la región.

En 1987, se inicia la caracterización, evaluación y mejoramiento genético por introducción y selección del amaranto, con énfasis en el grano blanco o crema. En 1989, Nieto, C. publica: El cultivo del Amaranto *Amaranthus* spp, una alternativa agronómica para Ecuador.

En 1990, el Programa de Cultivos Andinos, conduce un ensayo de evaluación de 10 líneas promisorias de grano blanco en la comunidad de Ambuela en Perucho, propiedad de la Flia. Vargas.

De 1987 a 1994, se evalúa la adaptabilidad y estabilidad de varias líneas promisorias de amaranto de grano blanco y negro en algunas provincias de la sierra.

En 1994 se entrega oficialmente la variedad INIAP Alegría, como la primera variedad mejorada de amaranto para la sierra ecuatoriana. Los obtentores fueron Monteros, C., Nieto, C., Caicedo, C., Rivera, M., y Vimos, C. la variedad se originó por selección de la variedad “Alan García”, introducida del Cuzco, Perú y seleccionada en la E.E. Santa Catalina entre 1987 y 1988.

De 1994 a 1997 el programa de Cultivos Andinos promueve el cultivo y el consumo del amaranto, en particular de la variedad INIAP Alegría, con poco éxito. A pesar de los grandes esfuerzos del INIAP por posicionar al cultivo en los sistemas de producción de los valles de las provincias de la sierra centro-norte, no se logró el objetivo esperado. Probablemente esto se debió a que se presentaba como un cultivo nuevo para los agricultores y desconocido para los consumidores.

En 1997, las autoridades del INIAP cierran el Programa de Cultivos Andinos. El rubro amaranto pasa a responsabilidad del Programa de Cereales de la Estación Santa Catalina, sin mayor trascendencia.

Frente a la demanda de instituciones nacionales e internacionales, el INIAP retoma la investigación en quinua en el Programa de Leguminosas a cargo de Eduardo Peralta.

En el año 2000, el rubro QUINUA pasa a ser parte de la investigación y desarrollo del Programa Nacional de Leguminosas. Por decisión personal y por haber sido coautor de las colecciones y formación del banco de germoplasma, se incluye al AMARANTO dentro del grupo de los Granos Andinos, junto al rubro CHOCHO y de hecho pasó a denominarse Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos (PRONALEG-GA) del INIAP en la Estación Experimental Santa Catalina (Quito).

En el año 2001, se purifica e incrementa semilla genética de la variedad INIAP Alegría y se realiza el refrescamiento de 230 accesiones de grano blanco y 191 de grano negro, en la zona baja de la E.E. Santa Catalina a 2700 m.s.n.m.

A la vez en este año, se inicia el convenio y proyecto entre INIAP y el IFAD-IPGRI, titulado: “Elevar la contribución que hacen las especies olvidadas y subutilizadas a la seguridad alimentaria y a los ingresos de la población rural de escasos recursos: quinua, chocho y amaranto”.

En el 2001, se recibe la visita de los Drs. Sven-Erik Jacobsen del CIP, Lima y de Stephen Sherwood de CIP, Quito, para recabar información y proyecciones sobre quinua en Ecuador. El autor les informa que el INIAP retomó la investigación en Granos Andinos (quinua, chocho y amaranto) y que son parte de un programa, recomendado escribir el informe sobre los tres granos andinos.

En el 2001, Escuelas Radiofónicas Populares del Ecuador, ERPE, con sede en Riobamba, inician la promoción y producción de ataco o sangorache de producción orgánica para exportación.

En el 2002, Jacobsen y Sherwood publican: Cultivo de Granos Andinos en Ecuador. Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto.

En el año 2002 (30 de enero), Peralta, E., y Mazón, N., visitan la Granja Agroecológica “EL Amaranto” en Perucho (Pichincha), para observar la producción de cinco ha de diferentes líneas y variedades de amaranto de grano blanco que fueron multiplicadas después que se realizó una investigación/tesis; de propiedad de los hermanos Enrique Vargas† y Patricio Vargas. Se observa el trillado del amaranto con una máquina estacionaria de fabricación coreana.

En el año 2003, el Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos del INIAP junto con el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos publican el Catálogo del Banco de Germoplasma de Amaranto (*Amaranthus* spp) del INIAP.

Del año 2001 al 2004, se evalúa e incrementa semilla de la variedad INIAP Alegría y de líneas promisorias de grano blanco (*A. caudatus*) y de grano

negro (*A. quitensis/hybridus* y *A. cruentus*). Se realiza premejoramiento y mejora genética por selección.

En el año 2004 se realiza multiplicación de semilla genética y tipo básica de la variedad Alegría y líneas promisorias de ataco, en la Granja Experimental Tumbaco del INIAP.

En el 2004, se recibe la visita del Sr. Roy Leventry (EEUU) e Ing. Marcos Tapia (Ecuador) de las empresas INCA FOOD e INCA ORGANICS, quienes motivan la investigación en ataco o sangorache y el requerimiento de 1200 t/año de grano negro para exportar a los EEUU.

Del año 2004 al 2008, se apoyan tesis de pregrado del IASA, ESPE, UTN, Ibarra, y U. de Babahoyo (Atuntaqui). Del año 2007 al 2010, se incrementa semilla de buena calidad de la variedad INIAP Alegría y líneas promisorias de ataco en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Bolívar y Cañar.

En el 2006, en Cotacachi, UCODEP, UNORCAC, RUNA TUPARI, FIDA/BIOVERSITY, publican en español e inglés: QUINUA, AMARANTO, MELLOCO Y CHOCHO. Un regalo Andino para el Mundo.

En el año 2008, se plantea el proyecto titulado “Fortalecimiento de los sistemas de producción de la sierra ecuatoriana a través de la generación, validación y transferencia de innovaciones tecnológicas para la producción y promoción del consumo de granos andinos: chocho (*Lupinus mutabilis* S.), quinua (*Chenopodium quinoa* W.) y amaranto/ataco (*Amaranthus* spp.) y es financiado con recursos del Gobierno Nacional.

En el 2008, se publica el Manual Agrícola de Granos Andinos, cultivos, variedades y costos de producción, donde se incluye el amaranto y el ataco o sangorache (Peralta, E. et ál.)

En el 2008, se publica **“El ataco, sangorache o amaranto negro (*Amaranthus hybridus* L.) en Ecuador.** (Peralta, E. et ál.)

En el 2008, el Sr. Presidente de la República Econ. Rafael Correa Delgado, firma el convenio MCDS-INIAP-MCCH **“Nutriendo el desarrollo”** para apoyar la investigación y desarrollo de la quinua, amaranto y cebada, en Zumbahua, Cotopaxi.

Juliana Meneses, Catalina Corrales y Marco Valencia en el año 2007, publican la investigación “Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca” donde exponen la posibilidad de elaborar un polímero de una planta rica en almidón, plantean un proceso, una metodología y un diseño de experimento que marca una pauta importante para la realización de la presente investigación, cabe mencionar que en el caso mencionado para los ensayos se ha usado almidón comercial.

La revista Bioagro en el año 2010, publicó el artículo “Evaluación de dos métodos de extracción de almidón de cotiledones de mango” donde Carlos Medina et ál., plantean la factibilidad de la extracción de almidón utilizando agua y una solución de hidróxido de sodio con eficiencia aceptable. Este mismo proceso es susceptible de replicarse con almidón proveniente de otras plantas.

En la publicación de Villada H., et ál., en el año 2008. Publicaron que “Se realizó una revisión enfocada al entendimiento de los conceptos detrás del término Almidón Termoplástico–TPS, para facilitar el desarrollo de productos biodegradables” se referencian diferentes ámbitos relacionados: fuentes, características y usos de los almidones, mecanismos de transformación, plastificación y propiedades; modificaciones químicas y bioquímicas; envejecimiento y biodegradación; y pautas de cómo desarrollar nuevos materiales.

El almidón es el azúcar más abundante en el planeta, es sintetizado durante la fotosíntesis y almacenado en los amilo plastos de la células vegetales (Yuryev et al., 1995). El almidón es un gránulo parcialmente cristalino e insoluble en agua a temperatura ambiente. Los gránulos de almidón tienen

diferentes tamaños y formas dependiendo de la fuente biológica de donde provengan. La forma puede ser redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal. Los gránulos más pequeños corresponden a los almidones del arroz y amaranto con diámetros entre 1 y 5 μm . Los gránulos de almidón de papa y yuca presentan diámetros entre 15-100 μm . El diámetro de los gránulos del almidón de maíz varía entre 25-50 μm según la variedad de maíz (Acosta, 1997; Baldwin, 1995; Yuryev et al., 1995). En general, la superficie de los diferentes gránulos del almidón varía según el origen botánico y constituye un interrogante en investigaciones (Lindeboom et al., 2004). Los gránulos de almidón están formados por dos polímeros: amilosa y amilopectina constituido por unidades de glucosa. La amilosa, generalmente el menor componente.

La FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) en 1998 publicó en su revista N° 9809 del Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor, las alternativas de usos no alimenticios del almidón donde se destacan las aplicaciones en la fabricación de productos farmacéuticos, explosivos, minería, construcción, adhesivos, papel, textil, cosmético, etc., así mismo se exponen las características básicas de los almidones.

Granados, G. et ál., en el año 2014, en su publicación en la revista referencia las propiedades funcionales del almidón de Sagú, extrajo el almidón y se determinaron las propiedades funcionales, destacando su alta capacidad de retención de agua, alto índice de absorción de lípidos, menciona también que la temperatura de gelatinización es relativamente baja (65-75°C) y que posee un alto porcentaje de amilopectina (77%).

La revista Ciencia e Ingeniería al día, de la Universidad de Cartagena en 2013, publicó la “Evaluación de la propiedades funcionales del almidón de malanga”, donde se concluye que “El almidón de malanga posee propiedades funcionales que hace viable su utilización en diversos sistemas alimenticios u otras aplicaciones industriales, pudiendo remplazar a los que hoy se comercializan”, (Torres, A. et ál. 2013)

2.4. BASES TEÓRICAS

2.4.1. EL AMARANTO

A escala mundial China es el principal productor de Amaranto al igual que países del sur oeste asiático, en América, México es el principal productor de Amaranto seguido de los países centroamericanos y en Sudamérica, Bolivia y Perú encabezan la lista de producción. Toda la producción de estos países es destinada a solucionar problemas alimentarios y en menor escala se aprovechan sus cualidades pigmentarias y medicinales. (Peralta, E. 2012)

Conocido es también el alto contenido de carbohidratos (básicamente almidón) de las semillas de los Amarantos, que se encuentran por encima del 60%, lo que potencializa su valor, usos y aplicaciones. (Peralta, E. 2012)

En Suramérica, se han identificado por lo menos tres especies de amaranto cultivado y silvestre. El más abundante es el *Amaranthus caudatus*, conocido como amaranto, kiwicha en Perú y millmi en Bolivia, con plantas y semillas de color y hábito de crecimiento diferente o diverso. (Peralta, E. 2012)

El que le sigue en importancia es el *Amaranthus quitensis* H.B.K. o *A. hybridus*, conocido en Ecuador como ataco, sangorache, sangoracha, jataco y actualmente como amaranto de grano negro. Las hojas del sangorache, al igual que de otros amarantos, son también relativamente ricas en proteínas. Mientras la mayoría de las verduras de uso frecuente en la alimentación humana, tiene entre 1 y 2% de proteína, el sangorache tiene entre 4 y 5%, a más de vitaminas y minerales. (Peralta, E. 2012)

Tanto las semillas como las hojas y tallos resultan de gran interés no solamente para la alimentación humana sino también para la crianza de animales domésticos pues, las semillas, por si solas ofrecen la ventaja de una dieta bastante bien balanceada.

Los breves datos mencionados ponen de relieve la importancia alimentaria del amaranto que, junto con la quinua, constituyen dos de los alimentos más importantes y más promisorios dentro de los esfuerzos que se realizan por todas partes para encontrar mejores nutrimentos que contribuyan a solucionar el creciente problema de la desnutrición. (Peralta, E. 2012)

A las buenas cualidades químicas y biológicas del amaranto se agregan varias cualidades agronómicas, entre ellos el ser un cultivo que requiere muy pocos cuidados; la planta se adapta a diversos climas, desde caliente hasta fríos, es poco exigente en agua y en fertilizantes y en climas calientes su desarrollo es tan precoz que entre 4 a 5 meses puede ya producir la cosecha a aproximadamente 4.000 metros de altura en nuestra Sierra.

Nuestros aborígenes, de modo empírico, descubrieron el alto valor alimentario y nutritivo del sangorache y la quinua. A qué se debe que tan valiosos alimentos hayan caído en el olvido, en especial el amaranto entre nosotros y solo en algunas zonas rurales de la Sierra aún se utiliza el sangorache para dar la coloración violácea a la mazamorra morada, que es el plato típico de los “finados”; pero el empleo de la semilla como alimento ha caído, inclusive en esas zonas, en total olvido. De acuerdo con algunas versiones históricas, los españoles prohibieron el cultivo del sangorache, según unos porque producía efectos afrodisiacos y según otros para desarraigar la idolatría. La segunda hipótesis tiene más visos de verdad. Como mencioné en algún artículo anterior sangorache quiere decir mazamorra para acompañar a los primeros, es decir a los antepasados y esta comida se preparaba para rendir homenaje a los antepasados. Fue pues una forma de culto y quizás los sacerdotes españoles tratando de evitar un culto pagano, sin saberlo, eliminaron de la dieta aborígen uno de los mejores alimentos. Hoy, el mundo científico tiene puesta la mirada en este humilde y minúsculo granito que muy pronto, quizá se convertirá en un tesoro alimenticio. (Peralta, E. 2012)

Cuadro 1: Clasificación Taxonómica del amaranto.

Reino:	Plantae
Sub-Reyno:	Tracheobionta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Amarantaceae
Género:	Amaranthus
Especie:	spp.
Nombre Científico:	<i>Amaranthus spp.</i>
Nombre Vulgar:	Ataco, Sangorache o Quinoa de Castilla.

Fuente: Reyes, 1985

2.4.1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La planta alcanza gran desarrollo en suelos fértiles; puede superar los dos metros de altura, tiene un solo eje central y también presenta ramificaciones desde la base y a lo largo del tallo. (Mazón, et al., 2003).

Fija dióxido de carbono y también se caracteriza por no presentar fotorespiración y un bajo empleo de agua para producir la misma cantidad de follaje que los cereales. (Colección FAO, 1992, Nieto, 1990)

La raíz es pivotante muchas ramificaciones y raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después de que el tallo se ramifica, facilitando la absorción de agua y nutrientes. (Mujica y Berti, 1997)

El tallo es cilíndrico y estriado, alcanza hasta tres metros de longitud, su grosor va disminuyendo de la base al ápice, de varias coloraciones que generalmente coinciden con el color de las hojas. El color del tallo varía del blanco amarillento al verde claro, incluso rojo vino. (Sumar, 1982)

Tiene hojas pecioladas ovaladas o elípticas, con nervaduras, en el envés de color verde o morado cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando bordes variables de 6 a 15 cm. (Sumar, 1993 y Tapia, 1997)

Tiene abundantes inflorescencias de hasta 90 cm de largo y pueden ser decumbentes, semierecto y erectas, adoptando formas glomerulares o amarantiformes, densas, laxas o compactas, posee flores masculinas y femeninas dispuestas en forma sésil o ligeramente pedunculada; las flores estaminadas una vez producido el polen se cierran y se caen. En las flores estaminadas hay cinco estambres de filamentos delgados y largos terminados en anteras que se abren en dos sacos, las flores pistiladas tienen un ovario semiesférico que contiene solo un óvulo, con tres ramas estigmadas. (Sumar, 1982)

Con frutos de una cápsula, que facilita la caída de la semilla. En el grano se pueden diferenciar tres partes: epispermo, cotiledones y perisperma. (Nieto, 1990 y Sánchez, 1980)

La semilla mide de 1 a 1,5 mm de diámetro y un gramo podría contener hasta 3.000 semillas. Son circulares y de color variado (blanco, blanco amarillento, dorado, rosa, rojo y negro). Las especies silvestres presentan granos negros y de cubiertas muy duras. Su capa interna o perisperma es rica en almidones. (Nieto, C. 1990)

2.4.1.3. REQUERIMIENTOS BÁSICOS DEL CULTIVO

Requerimientos de clima

Puede crecer desde el nivel del mar hasta los 2800 m de altitud, las especies que mejor comportamiento presentan a altitudes superiores a los 1000 m. son *A. caudatus* y *A. quitensis*. El crecimiento ideal se da mejor cuando la temperatura oscila de 18° a 24°C. (Montero, Nieto, Caicedo, Rivera, y Vimos 1994)

Temperaturas por debajo de los 4°C causa daños severos y no resiste las heladas y en general prosperan en ambientes con alta luminosidad. (Nieto, C. 1990). Requiere humedad adecuada en el suelo durante la germinación y crecimiento inicial, luego de que las plántulas desarrollan con humedad limitada, y se ha observado mejor crecimiento en ambientes secos y cálidos que en exceso de humedad. En lugares con hasta 3.000 mm de precipitación por año dan abundante producción de biomasa y pueden dar cosechas importantes en ambientes con 300 o 400 mm de precipitación anual. (Nieto, C. 1989)

Tipo de Suelo

Se adapta a muchos tipos de suelo, sin embargo, las especies productoras de grano, crecen mejor en suelos con pH neutro o alcalino (> 6), En general muchas especies resisten ciertos niveles de salinidad en el suelo, sin embargo hay especies como *A. tricolor* que también desarrollan en suelos muy ácidos. (Nieto, C. 1990).

TÉCNICAS DE MANEJO DEL CULTIVO.

Preparación del Suelo y Siembra

Pueden hacer siembras directas o trasplantes de plántulas germinadas. Si la siembra es directa es necesario preparar el suelo hasta que quede libre de terrones y rastros. Se siembra en surcos, de 10 cm. de profundidad y separados a 60 o 70 cm colocando entre 10 y 20 semillas para luego tapar con 1 a 2 cm. de suelo. (Nieto, C. 1990).

También se puede usarse sembradoras mecánicas de hortalizas o de pastos. La densidad de siembra varía entre 2 y 6 kg/ha, cuando la siembra es mecanizada y hasta 10 kg/ha, cuando es manual. (Monteros *et al.*, 1994).

Deshierba y raleos

Es necesario realizar deshierba, cuando abunda la maleza para evitar la competencia. A partir del primer mes de cultivo crece rápidamente y cubre el suelo, impidiendo el desarrollo de malezas. (Monteros, Nieto, Caicedo, Rivera y Vimos, 1994).

Es recomendable realizar raleos, para dejar entre 20 y 30 plantas por m², cuando es para cosechar su grano y 100 plantas por m², como verdura, puede eliminarse el raleo dando lugar a cultivos densos cuyas plantas crecen poco y producen menos, siendo necesario aumentar plantas. (Monteros *et al.*, 1994).

Fertilización.

Se recomienda aplicar una fertilización de 80 kg/ha de N, 40 kg/ha de P y 40 kg/ha de K aproximadamente 3 qq de 10-30-10 más 3 qq de urea y 1/2 qq de muriato de potasio, o unas 10000 kg/ha de materia orgánica bien descompuesta. En suelos de buena fertilidad o cultivados con especies que

dejan remanentes de fertilizantes se puede cultivar amaranto sin fertilizar. (Nieto, C. 1990).

Puede usarse abonos orgánicos ricos en micro y macro nutrientes y necesarios para resistir el ataque de enfermedades y plagas, mejorar textura y estructura de los suelos, regulando su temperatura y humedad. (IIRR, 1996).

Cuadro 2: Clasificación de los amarantos

FAMILIA	ESPECIE
Noctuidae	<i>Agrotis spp.</i>
Noctuidae	<i>Feltia spp.</i>
Chrysomelidae	<i>Diabrotica spp.</i>
Chrysomelidae	<i>Epitrix spp.</i>
Aphidae	<i>Myzus spp.</i>
Miridae	<i>Lygus spp.</i>

Fuente: Reyes Pedro 1985

El problema mayor es la posible presencia de micoplasma, microorganismo que produce esterilidad en las plantas, causante de que sus flores se pierdan sus óvulos y anteras. La solución para este último problema parece estar en utilizar variedades o líneas tolerantes. (Monteros, *et al.*, 1994).

- **Cosecha y Trilla.**

Debe hacerse cuando las plantas estén maduras, con hojas secas en la base y amarillas en el ápice de la planta y granos secos en la panoja.

Se puede realizar cosecha a mano, golpeando las panojas para obtener las inflorescencias para posteriormente trillarlas.

Luego de la trilla es conveniente procesar el grano, es decir, secarlo al sol o con secadoras convencionales antes de almacenar. La eliminación de impurezas aumenta la calidad de las semillas. (Nieto, C. 1990)

CICLO VEGETATIVO Y RENDIMIENTOS.

Depende de la variedad y especie, el ciclo del cultivo varía entre 90 y 240 días. Tiene rendimientos variables, de hasta 4.000 kg/ha. (Nieto, C. 1990)

VALOR ALIMENTICIO.

Posee significativos los contenidos de grasa, fibra y minerales, dentro de los que sobresalen el hierro y el calcio y los contenidos de oxalatos, no superan el 4,6%, inocuo para el hombre. (Nieto, C. 1990)

Cuadro 3: Composición de los amarantos

CARACTERÍSTICA	GRANO	VERDURA
Proteína %	12,0 – 19,0	14,0 – 33,3
Grasa %	6,1 – 8,1	1,0 - 4,7
Fibra %	3,5 – 5,0	5,3 – 17,0
Carbohidratos %	71,8	19,4 – 43,0
Cenizas %	3,0 – 3,3	2,1 – 3,0
Calcio %	130,0 – 154,0	1042,0 – 2776,0
Fósforo %	530,0	740,0 – 760,0
Potasio %	800,0	-----
Hierro %	6,3 - 12,8	7,0 – 52,0
Caroteno %		24,0 – 33,0
Lisina %	0,8 – 1,0	
Vitamina C %	1,5	64,0 – 693,0
Calorías %	391	-----

Fuente: Reyes Pedro 1.985

Valor nutritivo de amaranto:

Rango de valores promedio para varias especies en base a peso seco de la porción comestible.

Cuadro 4: Composición del amaranto y otros cereales.

Composición	Amaranto	Trigo	Maíz	Sorgo	Arroz
Humedad	8.0	12.5	13.8	11.0	11.7
Proteína cruda	15.8	14.0	10.3	12.3	8.5
Grasa	6.2	2.1	4.5	3.7	2.1
Fibra	4.9	2.6	2.3	1.9	0.9
Cenizas	3.4	1.9	1.4	1.9	1.4
Calorías/100 g	366	343	352	359	353

Fuente: Paredes *et al.* (s/f)

USOS

Puede ser utilizado en la alimentación humana y animal. Para la alimentación humana se puede utilizar el grano, ya sea entero o en harinas. Con el grano entero, previamente reventado. En México son muy comunes los dulces a manera de turrone que no son otra cosa que amaranto reventado mezclado con miel y solidificado en moldes. (Monteros *et al.*, 1994)

Se puede preparar harina, a partir amaranto tostado o crudo, con la cual se elaboran muchas alternativas de consumo, no contienen ningún compuesto antinutricional como es el caso de las saponinas en la quinua o de las lupininas en el chocho. (Monteros *et al.*, 1994)

Sus hojas y tallos tiernos cocidos sirven para preparar ensaladas y sopas. Se puede sancochar al vapor por 5 minutos y luego preparar las más variadas ensaladas. (Nieto, C. 1989) Se ha comprobado que los restos de cosecha

podría ser una buena fuente de alimento para el ganado; estos contienen fibra, minerales y proteína. La planta entera en combinación con otras es un buen forraje para alimentar aves de corral, o preparar cualquier balanceado para uso animal. (Nieto, C. 1989)

POSIBILIDADES DE CULTIVO DE AMARANTO EN EL ECUADOR.

El Programa de Cultivos Andinos del INIAP ha realizado algunas pruebas de campo y laboratorio, se ha encontrado que existen grandes posibilidades, sobre todo para los valles de la Sierra, cuyas altitudes no superan los 2800 m.s.n.m. y que presentan alta luminosidad y poca pluviosidad.

Hacen falta muchos estudios para promover la producción de este cultivo, que podría ser una alternativa de producción para muchas áreas agrícolas del país. (Monteros *et al.*, 1994)

2.4.2. *Amaranthus quitensis* L.

Descripción

Tiene cotiledones ovales lanceolados con lámina de 13-15 mm x 2-3 mm; nervadura central poco visible; pecíolo mediano. Hojas subopuestas, ovadas lanceoladas, ápice emarginado, borde entero; nervadura central bien visible; pecíolo de 1/5 del largo de la lámina. Hipocótilo largo.

Hábitat

Es endémica de Ecuador, Bolivia, Brasil, Argentina, Paraguay, Perú, Uruguay. Tiene una distribución cosmopolita.

Propiedades

Es usada por chamanes en Ecuador para tratar epilepsia. También es muy conocida por ser el ingrediente principal en las aguas tradicionales de la región sierra de Ecuador; dando así la conocida agua de Horchata; cabe indicar que también se la mezcla con otras hierbas aromáticas como: manzanilla, flores de clavel, llantén, etc. para preparar la mencionada bebida.

Etimología


Amaranthus: nombre genérico que procede del griego *amaranthos*, que significa "flor que no se marchita" y ***quitensis***: epíteto geográfico que alude a su localización en Quito.

Sinonimia

- *Amaranthus chlorostachys* (Willd.)
- *Amaranthus hybridus* subsp. *quitensis* (Kunth)
- *Amaranthus patulus* (Bertol.)
- *Amaranthus batallerii* (Sennen)
- *Amaranthus chlorostachys* var. *aciculatus* (Thell.) Aellen
- *Amaranthus chlorostachys* var. *aculeata* (Thell., Sennen)
- *Amaranthus chlorostachys* var. *debilis* (Sennen)
- *Amaranthus edouardii* (Sennen)
- *Amaranthus eugenii* (Sennen)
- *Amaranthus filicaulis* (Sennen)
- *Amaranthus hybridus* (Kunth)
- *Amaranthus hybridus* subsp. *patulus* (Bertol.) Carretero
- *Amaranthus hybridus* var. *acicularis* Thell.
- *Amaranthus hybridus* var. *hybridus* (Kunth)
- *Amaranthus incurvatus* (Timeroy)

- *Amaranthus patulus* var. *hemathodes* (Costa)
- *Amaranthus patulus* var. *multispiculatus* (Sennen)
- *Amaranthus retroflexus* f. *valentinus* (Sennen)
- *Amaranthus hybridus* subsp. *quitensis* (Kunth)

CUADRO 5. Taxonomía del *Amaranthus quitensis* spp.

	
Figura 1: Planta de amaranto. Fuente: Paredes <i>et al.</i> (s/f)	
Clasificación científica	
Reino:	<i>Plantae</i>
Subreino:	<i>Antofita</i>
División:	<i>Spermatophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase:	<i>Caryophyllidae</i>
Orden:	<i>Caryophyllales</i>
Familia:	<i>Amaranthaceae</i>
Subfamilia:	<i>Amaranthoideae</i>
Género:	<i>Amaranthus</i>
Nombre binomial: <i>Amaranthus quitensis</i> KUNTH 1818	
Nombre común: Ataco, yuyo colorado, sangorache.	

Fuente: Paredes *et al.* (s/f)

TECNOLOGÍA PARA EL CULTIVO DE ATACO



Figura 2: Cultivo de ataco. Fuente: INIAP 2010

NOMBRE CIENTIFICO: *Amaranthus quitensis* H.B.K./*hybridus* L.

CENTRO DE ORIGEN: América, Zona Andina.

ZONA DE CULTIVO: Valles de la sierra (libre de heladas)

ALTITUD: 2000 a 3000 m

CLIMA:

- **Lluvia:** 300 a 600 mm de precipitación en el ciclo.
- **Temperatura:** 15° C

SUELO: Franco, con drenaje y contenido de materia orgánica.

pH: 6 a 7,5

VARIEDADES: No se dispone todavía de variedades mejoradas.

LÍNEAS PROMISORIAS: ECU 17728

CICLO DE CULTIVO: 150 a 180 días

PREPARACIÓN DEL SUELO: Arada, rastrada y surcada

ROTACIÓN DE CULTIVOS: Rotar con leguminosas.

SIEMBRA: *Época:* Diciembre a enero,

CANTIDAD: 6 a 8 kg por ha

- **Sistema:** Monocultivo (chorro continuo)
- Distancia entre surcos: 60 cm
- Hileras por surco: una

FERTILIZACIÓN:

De acuerdo al resultado de análisis de suelo. Una recomendación de fertilización general es aplicar 100-60-20 kg por hectárea de N-P₂O₅-K₂O, equivalente a 200 kg de 10-30-10 más 200 kg de urea o 200 kg de nitrato de amonio. (INIAP, 2010)

CONTROL DE MALEZAS:

Manual: Una deshierba o rascadillo entre 30 y 45 días después de la siembra. Una deshierba y aporque a los 60 días después de la siembra.

Químico: En post emergencia, usando pantalla, se recomienda el uso del herbicida Paraquat (Gramoxone) en dosis de 2 litros por hectárea. (INIAP, 2010)

CONTROL DE PLAGAS:

Se recomienda aplicar pesticidas solamente cuando el nivel de población de las plagas pueda causar daño al cultivo. Para trozadores (*Agrotys* sp.), se recomienda Decis (Deltametrina, piretroide) en dosis de 400 cm³ por hectárea. (INIAP, 2010)

CONTROL DE ENFERMEDADES:

Entre las enfermedades que afectan al cultivo están el mal de semillero causado por *Pythium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, por lo que se recomienda evitar suelos con estos problemas. Las enfermedades foliares que afectan al ataque o sangorache son oidium, sclerotinia, curvularia y alternaria y no constituyen un problema importante en este cultivo, por lo que no se recomienda controles químicos. (INIAP, 2010)

RIEGO:

El cultivo de ataco o sangorache es de temporal o seco. En áreas con disponibilidad de agua de riego se debe regar por gravedad o surcos, el volumen de entrada (gasto) del agua no debe ser abundante y debe distribuirse simultáneamente en varios surcos; su avance a lo largo del surco debe ser moderado. El número y frecuencia de riegos varía con el tipo de suelo, las condiciones climáticas y en ausencia de lluvia puede ser necesario regar cada 30 días, con énfasis en floración. (INIAP, 2010)

COSECHA:

Se realiza en forma manual, cortando las panojas que presentan cierta dehiscencia o caída de grano de la base de las mismas. Los granos presentan cierta dureza cuando están llegando a su madurez. (INIAP, 2010)

TRILLA:

La trilla puede ser manual o con máquinas para cereales de grano pequeño. Al tratarse de semilla de buena calidad y una vez manejados los lotes bajo este concepto, la trilla debe realizarse preferentemente con vara o máquina. El secado del grano debe hacerse a la sombra y las selecciones del mismo, por mayor tamaño, bien formadas y uniformes. La limpieza y clasificación del grano o semilla se puede realizar con zarandas manuales o con máquinas clasificadoras de semillas Clipper. (INIAP, 2010)

ALMACENAMIENTO:

El grano con humedad inferior al 13%, debe almacenarse en cuartos secos y frescos. (INIAP, 2010)

INDUSTRIALIZACIÓN:

Se ha probado con éxito la extracción del colorante de la panoja y se dispone de resultados iniciales para su uso como bebida refrescante, en pastelería y otros. (INIAP, 2010)

Cuadro 6: Costos de producción 1 ha de ataco tecnología INIAP.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO \$	TOTAL
Arada	Hora/tractor	4,0	15,0	60,0
Rastrada	Hora/tractor	3,0	15,0	45,0
Surcado	Hora/tractor	2,0	15,0	30,0
Siembra	Jornal	6,0	10,0	60,0
Fertilización	Jornal	2,0	10,0	20,0
Aplicación de insecticida	Jornal	1,0	10,0	10,0
Deshierba	Jornal	20,0	10,0	200,0
Aporque	Jornal	20,0	10,0	200,0
Cosecha y trilla	Jornal	25,0	10,0	250,0
Semilla INIAP	Kg	8,00		16,0
Fertilizante	Sacos	8,50		208,25
Insecticidas	Kg	1,0		10,0
Costales	Costal	18,0		3,6
Interés (%)		12,75	141,89	141,89
Arriendo por ciclo	ha	1,0	200,0	200,0
TOTAL DE COSTOS				1454,74

Fuente: INIAP, 2010

Cuadro 7. Análisis proximal del ataco

ANÁLISIS PROXIMAL (base seca)		
CONTENIDO	Unidad	GRANO
Proteína	%	16,46
Cenizas	%	3,72
Grasa	%	7,84
Fibra bruta	%	15,54
Carbohidratos	%	56,44
Calcio	%	0,36
Fósforo	%	0,67
Magnesio	%	0,33
Sodio	%	0,02
Potasio	%	0,48
Hierro	ppm	107
Manganeso	ppm	41
Zinc	ppm	24
Cobre	ppm	7
Energía total	(kcal/100 g)	473,89

Fuente: INIAP 2010

2.4.3. POLÍMEROS.

Los **polímeros** se definen como macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (monómeros) que se repiten a lo largo de toda una cadena. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

Un polímero es como si uniésemos con un hilo muchas monedas perforadas por el centro, al final obtenemos una cadena de monedas, en

donde las monedas serían los monómeros y la cadena con las monedas sería el polímero. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

La parte básica de un polímero son los monómeros, los monómeros son las unidades químicas que se repiten a lo largo de toda la cadena de un polímero, por ejemplo el monómero del polietileno es el etileno, el cual se repite x veces a lo largo de toda la cadena. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

Los polímeros se pueden clasificar de la siguiente forma:

2.4.3.1. Según su origen:

- **Polímeros naturales:** Existen en la naturaleza muchos polímeros y las biomoléculas que forman los seres vivos son macromoléculas poliméricas. Por ejemplo, las proteínas, los ácidos nucleicos, los polisacáridos etc.
- **Polímeros semisintéticos:** Se obtienen por transformación de polímeros naturales. Por ejemplo, la nitrocelulosa, el caucho vulcanizado, etc.
- **Polímeros sintéticos:** Muchos polímeros se obtienen industrialmente a partir de los monómeros. Por ejemplo, el nylon, el poliestireno, el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno, etc. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

2.4.3.2. Según su mecanismo de polimerización:

- **Polímeros de condensación:** La reacción de polimerización implica a cada paso la formación de una molécula de baja masa molecular, por ejemplo agua.
- **Polímeros de adición:** La polimerización no implica la liberación de ningún compuesto de baja masa molecular. Esta polimerización se

genera cuando un "catalizador", inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así hasta que la reacción termina.

- **Polímeros formados por etapas:** La cadena de polímero va creciendo gradualmente mientras haya monómeros disponibles, añadiendo un monómero cada vez, como por ejemplo los poliuretanos.
- **Polímeros formados por reacción en cadena:** Cada cadena individual de polímero se forma a gran velocidad y luego queda inactiva, a pesar de estar rodeada de monómero. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

2.4.3.3. Según su estructura:

- **Lineales:** formados por monómeros difuncionales. Ej.: polietileno, poliestireno.
- **Ramificados:** se requiere el agregado de monómeros trifuncionales, por ejemplo, glicerol.
- **Entrecruzados:** Se forma un material compuesto por una molécula tridimensional continua, toda ella unida por enlaces covalentes (resinas urea-formaldehído y fenol-formaldehído). (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

2.4.3.4. Según su composición química

- **Polímeros orgánicos.** Posee en la cadena principal átomos de carbono.
- **Polímeros orgánicos vinílicos.** La cadena principal de sus moléculas está formada exclusivamente por átomos de carbono.

Dentro de ellos se pueden distinguir:

- Poliolefinas: formados mediante la polimerización de olefinas. Ejemplos: polietileno y polipropileno.
- Polímeros estirénicos, que incluyen al estireno entre sus monómeros. Ejemplos: poliestireno y caucho estireno-butadieno.
- Polímeros vinílicos halogenados, que incluyen átomos de halógenos (cloro, flúor...) en su composición. Ejemplos: PVC y PTFE.
- Polímeros acrílicos. Ejemplos: PMMA.
- Polímeros orgánicos no vinílicos. Además de carbono, tienen átomos de oxígeno o nitrógeno en su cadena principal. Poliésteres, Poliamidas, Poliuretanos. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

2.4.3.5. Según su comportamiento al elevar su temperatura

Para clasificar polímeros, una de las formas empíricas más sencillas consiste en calentarlos por encima de cierta temperatura. Según si el material funde y fluye o por el contrario no lo hace se diferencian dos tipos de polímeros:

- **Termoplásticos**, que fluyen (pasan al estado líquido) al calentarlos y se vuelven a endurecer (vuelven al estado sólido) al enfriarlos. Su estructura molecular no presenta entrecruzamientos. Ejemplos: polietileno, polipropileno, PVC.
- **Termoestables**, que no fluyen, y lo único que conseguimos al calentarlos es que se descompongan químicamente, en vez de fluir. Este comportamiento se debe a una estructura con muchos

entrecruzamientos, que impiden los desplazamientos relativos de las moléculas.

- **Elastómero**, plásticos con un comportamiento elástico que pueden ser deformados fácilmente sin que se rompan sus enlaces no modifique su estructura. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

2.4.3.6. Según sus aplicaciones

Según sus propiedades y usos finales, los polímeros pueden clasificarse en:

- **Elastómeros**. Son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad; es decir, se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo.
- **Plásticos**. Son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original.
- **Fibras**. Presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad.
- **Recubrimientos**. Son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la abrasión.
- **Adhesivos**. Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial. (Raimond, B. *et ál.*, 1995)

2.4.4. BIOPOLÍMEROS

Los biopolímeros son macromoléculas presentes en los seres vivos. Una definición de los mismos los considera materiales poliméricos o macromoleculares sintetizados por los seres vivos. También, a raíz de nuevas disciplinas médicas como la ingeniería de tejidos, como biopolímeros también se incluyen materiales sintéticos con la particularidad de ser biocompatibles con el ser vivo. (López, C. 2011)

De entre los biopolímeros los referidos a la primera clasificación, existen tres principales familias: proteínas (fibroínas, globulinas, etc), polisacáridos (celulosa, alginatos, etc) y ácidos nucleicos (ADN, ARN, etc.) aunque también otros más singulares como los politerpenos (ver terpenos), entre los que se incluye el caucho natural, los polifenoles (como la lignina) o algunos poliésteres como los polihidroxicanoatos producidos por algunas bacterias. (López, C. 2011)

El biopolímero más abundante en la tierra es la celulosa. Otros biopolímeros abundantes son la quitina (en los exoesqueletos de arácnidos, crustáceos e insectos). (López, C. 2011)

2.4.4.1. Biopolímeros naturales

De entre los polímeros naturales más comunes son los polímeros sintetizados por los seres vivos. A continuación se describen algunos de los biopolímeros más comunes. (Valero, M. *et ál.*, 2013)

- **Ácidos nucleicos:** Los ácidos nucleicos pueden ser considerados, tal vez, los biopolímeros más importantes ya que son los portadores de la información genética heredada entre generaciones.

- **Proteínas:** Las proteínas, formadas por uniones peptídicas entre aminoácidos tienen una función capital en los seres vivos, ya que participan en distintas funciones biológicas. Entre estas se incluyen funciones estructurales (colágeno), funciones catalíticas (enzimas) o inmunológicas (anticuerpos o inmunoglobulinas).
- **Polisacáridos:** Los polisacáridos son polímeros resultantes de la condensación acetálica de monosacáridos simples. Los polisacáridos suelen tener funciones estructurales (celulosa, quitina, pectinas, alginatos, etc) pero también funciones de reserva energética en el reino vegetal (amilosa, amilopectina, inulina) y en el reino animal (glucógeno).
- **Politerpenos:** De entre los politerpenos los dos más conocidos son el poliisopreno (caucho natural o químicamente isómero cis-1,4-polisopreno) y la gutapercha (caucho de propiedades mecánicas inferiores, el isómero trans-1,4-polisopreno).
- **Polihidroxialcanoatos:** Estructura repetitiva del poli-(R)-3-hidroxibutirato (P3HB) un polihidroxialcanoato, un biopolímero de origen bacteriano.

Los polihidroxialcanoatos son poliésteres lineales biosintetizados por bacterias mediante la fermentación de azúcares o lípidos. Existen muchos tipos de polihidroxialcanoatos pero los más conocidos son el polihidroxibutirato (PHB) y el poli-3-hidroxivalerato (PHV), así como sus copolímeros. (Valero, M. *et ál.*, 2013)

2.4.4.2. Biopolímeros sintéticos

De entre los biopolímeros sintéticos empleados en implantes destacan, (Valero, M. *et ál.*, 2013)

- Poliuretanos (PU)
- Siliconas (Si)
- Polimetilmetacrilato (PMMA)
- Policaprolactona (PCL)
- Políácido glicólico (PAG)
- Polivinilalcohol o alcohol polivinílico (PVA)

2.4.4.3. Biopolímeros derivados

En los biopolímeros derivados se agrupan los biopolímeros sintetizados artificialmente pero a partir de sustancias naturales. Estos materiales son también denominados bioplásticos, aunque es esta categoría también se incluirían todo los biopolímeros de origen natural. Entre estos materiales se incluyen, (Valero, M. et ál., 2013)

- El ácido poliláctico (PLA)
- Polietileno derivado del etanol de la caña de azúcar.
- Celuloides

2.4.5. ALMIDÓN

El almidón es un polisacárido, más específicamente un homopolisacárido de reserva energética predominante en las plantas, constituido por la unión de grandes cantidades de monómeros de glucosa, especialmente en tubérculos. También aparece en algunos protocistas de monómeros de glucosa. (Cheftel, J. 1976)

El almidón se encuentra en los amiloplastos de las células vegetales, sobre todo en las semillas, las raíces y los tallos, incluidos. El almidón está formado por dos compuestos de diferente estructura, (Cheftel, J. 1976)

Amilosa: Está formada por α -D-glucopiranosas unidas por centenares o miles (normalmente de 300 a 3000 unidades de glucosa) mediante enlaces α -(1 \rightarrow 4) en una cadena sin ramificar, o muy escasamente ramificada mediante enlaces α -(1 \rightarrow 6) . Esta cadena adopta una disposición helicoidal y tiene seis monómeros por cada vuelta de hélice. Suele constituir del 25 al 30 % del almidón.

Amilopectina: Constituye el 70-75 % restante. También está formada por α -D-glucopiranosas, aunque en este caso conforma una cadena altamente ramificada en la que hay uniones α -(1 \rightarrow 4), como se indicó en el caso anterior, y muchos enlaces α -(1 \rightarrow 6) que originan lugares de ramificación cada doce monómeros. Su peso molecular es muy elevado, ya que cada molécula suele reunir de 2.000 a 200.000 unidades de glucosa.

De todos modos, la proporción entre estos dos componentes varía según el organismo en el que se encuentre. Los tamaños y las formas de los granos de almidón de las células del endospermo, varía de un cereal a otro; en el trigo, centeno, cebada, maíz, sorgo y mijo, los granos son sencillos, mientras que los de arroz son compuestos. La avena tiene granos sencillos y compuestos predominando estos últimos. (Cheftel, J. 1976)

La mayor parte de los granos de almidón de las células del endospermo prismático y central del trigo tiene dos tamaños: grande, 30-40 micras de diámetro, y pequeño, 1-5 micras, mientras que los de las células del endospermo sub-aleurona, son principalmente de tamaño intermedio 6-15 micras de diámetro. En las células del endospermo sub-aleurona hay relativamente más proteína y los granos de almidón están menos apretados que en el resto del endospermo. (Cheftel, J. 1976)



Figura 3: Gránulos de almidón al microscopio. Fuente: García, D. 2016

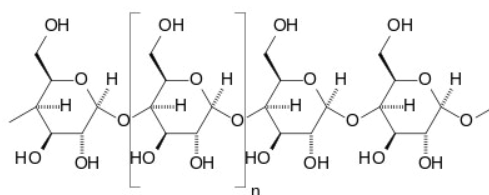


Figura 4: Estructura de la amilosa

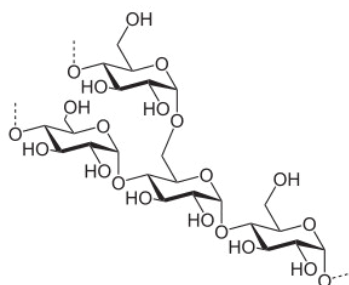


Figura 5: Estructura de la amilopectina

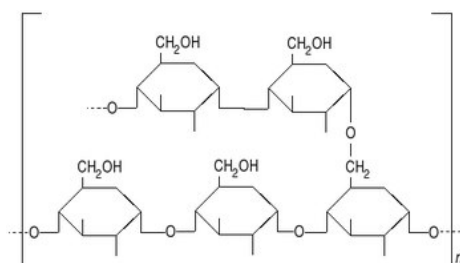


Figura 6: Estructura del almidón

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden contener agua al aumentar la temperatura, es decir los gránulos de almidón sufren el proceso denominado gelatinización, donde se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan. (Cheftel, J. 1976)

Los diversos estados de gelatinización pueden ser determinados. Estos estados son: la temperatura de iniciación (primera observación de la pérdida de birrefringencia), la temperatura media, la temperatura final de la pérdida de birrefringencia (TFPB, es la temperatura a la cual el último gránulo en el campo de observación pierde su birrefringencia), y el intervalo de temperatura de gelatinización. (Cheftel, J. 1976)

Al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos. (Cheftel, J. 1976)

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es experimental, ya que para la misma fue necesario manipular el almidón obtenido con el fin de darle características deseables, coincidente con lo que dice Fideas Arias, 2012, “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos en determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”.

3.2. UNIDAD DE ANÁLISIS

Semillas de ataco, *Amaranthus quitensis* L.

3.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Plantas de ataco, *Amaranthus quitensis* L.

3.4. TAMAÑO DE MUESTRA

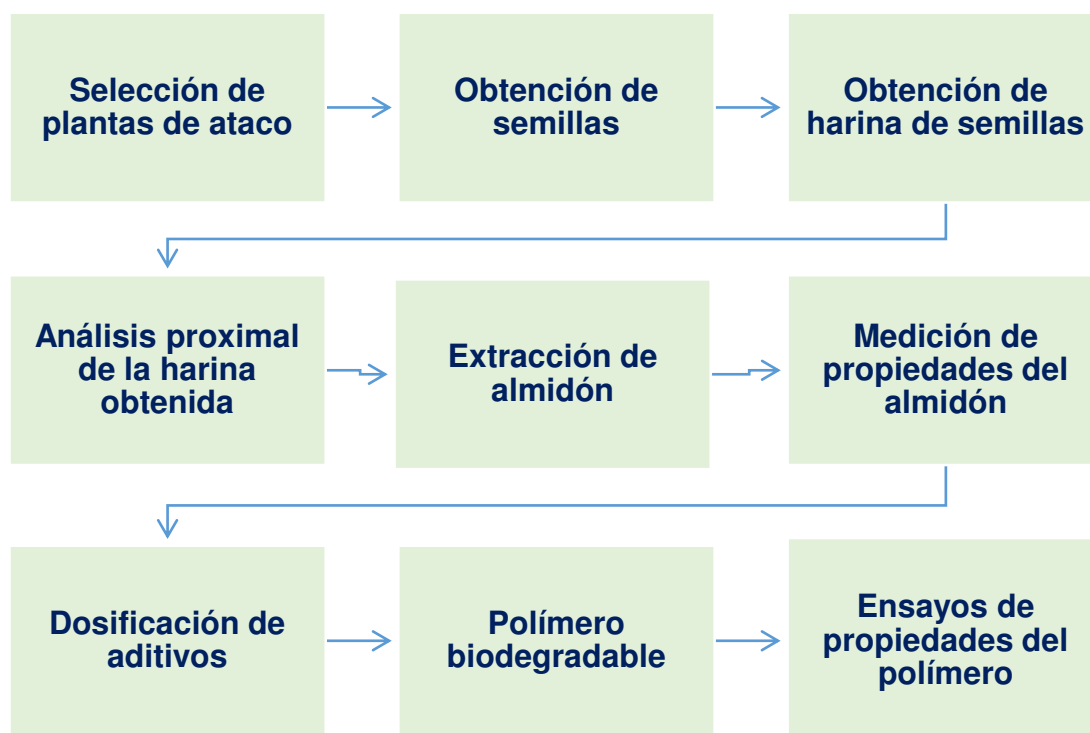
Aproximadamente 10 kg de semillas de ataco, *Amaranthus quitensis* L.

3.5. SELECCIÓN DE MUESTRA

Selección no probabilística discrecional, ya que se ha escogido la muestra buscando plantas de ataco con mayor cantidad de inflorescencias, lugar donde se encuentran las semillas.

3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En la primera parte del estudio fue necesaria la revisión de literatura especializada, sobre todo para la consecución de cada uno de los objetivos específicos ya que no se ha realizado extracciones de almidón de ataco documentadas, y tampoco se ha realizado ensayos para obtener polímeros a partir de dicha planta, posteriormente se requirió datos relacionados con el desarrollo mismo del polímero biodegradable. Para la recolección de datos cualitativos y cuantitativos fueron necesarios realizar algunas pruebas y ensayos en laboratorio, el proceso completo se expone a continuación en el siguiente diagrama general:

Cuadro 8: Proceso desarrollo polímero biodegradable.

Fuente: Juan González G. 2016

3.7. SELECCIÓN DE PLANTAS DE ATACO

Como se mencionó anteriormente, el proceso de selección de plantas de ataco fue en función de las características deseadas, escogiéndose plantas con abundantes inflorescencias, lugar donde se encuentran las semillas, de tamaño grande y color intenso.

3.8. OBTENCIÓN DE SEMILLAS DE ATACO

Primero se obtuvo inflorescencias de plantas de ataco, compradas en un mercado de la ciudad de Riobamba, se las secó al aire ambiente colocadas en bandejas extendidas durante una semana aproximadamente, luego se realizó una trilla manual, golpeando y dispersando las inflorescencias secas

sobre un lienzo y con la ayuda de un tamiz se separaron las semillas de ataco hasta obtener una cantidad aproximada de 2 kg.

3.9. OBTENCIÓN DE HARINA DE SEMILLAS DE ATACO

Una vez separadas las semillas, se secaron al ambiente por un periodo de dos horas para evitar que sufran daños, luego se procedió a molerlas con la ayuda de un mortero y un molino de bolas de porcelana. Posteriormente se tamizó (200 μm) el producto para separar las cortezas de las semillas y obtener harina limpia, que fue nuevamente secada en estufa a 60°C durante 24 horas para finalmente ser almacenada en fundas plásticas ziploc con cierre hermético, con una parte de la muestra se realizó su respectivo análisis proximal:

3.10. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA HARINA DE ATACO

Se determinó: humedad (AOAC 952.08), ceniza (11AOAC 923.03), grasa (AOAC 2003.06), proteína cruda (AOAC 2011.11), fibra cruda (AOAC 962.09), para el análisis de carbohidratos el método propuesto por (Dubois et al., 1959), y para el almidón la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 0524:2013).

3.10.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN HARINA DE ATACO

Utilizando el método (AOAC 952.08):

OBJETIVO

Determinar el contenido de agua de la muestra.

FUNDAMENTO

El método se fundamentó en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta masa constante en estufa de aire.

MATERIAL Y EQUIPO

- Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg
- Cápsulas de vidrio y porcelana.
- Desecador con deshidratante adecuado.
- Estufa regulada a 103 ± 2 °C.
- Material usual de laboratorio

PROCEDIMIENTO

- Análisis en duplicado.
- Se colocó la cápsula destapada y la tapa durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.
- Se emplearon pinzas para trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min.
- Se pesó la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg, Registrar (m1).
- Se pesó 5 g de muestra previamente homogeneizada, Registrar (m2).
- Se colocó la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 °C por 5 horas.
- Se tapó la cápsula con la muestra, se sacó de la estufa y enfrió en desecador durante 45 min.
- Se repitió el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m3).

CÁLCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La humedad del producto se expresó en porcentaje, es igual a:

$$\% \text{ Humedad} = [(m_2 - m_3) / (m_2 - m_1)] \times 100$$

Donde:

m₁: masa de la cápsula vacía y de su tapa. (g)

m₂: masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado. (g)

m₃: masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada. (g)

Instituto Nacional de Normalización, NCh 841 of 78. 4.2 Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition 1990. 5.- TERMILOGIA. N/A. 6.

3.10.2. DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN HARINA DE ATACO

Utilizando el método (AOAC 923.03):

OBJETIVO

Determinar las cenizas totales en muestras de alimentos.

FUNDAMENTO

El método se fundamentó en la destrucción de la materia orgánica presente en la muestra por calcinación y determinación gravimétrica del residuo.

MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

- Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg.
- Crisoles o cápsulas de porcelana.
- Desecador con deshidratante adecuado (silicagel con indicador, óxido de calcio u otro).
- Placa calefactora u otro
- Mufla regulada a $550 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Material usual de laboratorio.

PROCEDIMIENTO

- Se ensayó por duplicado.
- Se molió la muestra y pasó por tamiz de 20 mesh,
- Se pesó 0,1 mg en una cápsula previamente calcinada y tarada (m_0) entre 2 a 5 g de muestra homogenizada (m_1).
- Se procedió a pre calcarinar evitando que se inflame, luego se colocó en la mufla e incinerar a 550 °C hasta cenizas blancas o grisáceas.
- Se pre enfrió en la mufla apagada y luego se traspasó al desecador y pesó a temperatura ambiente. Las cenizas que contienen manganeso o hierro pueden presentar cierta coloración.
- Se enfrió en desecador y se pesó (m_2).

CÁLCULOS Y RESULTADOS

$$\% \text{ Cenizas totales} = [(m_2 - m_0)/(m_1 - m_0)] \times 100$$

Donde:

m_2 : masa de la cápsula con las cenizas. (g)

m_1 : masa de la cápsula con la muestra. (g)

m_0 : masa de la cápsula vacía. (g)

3.10.3. DETERMINACIÓN DE GRASA EN HARINA DE ATACO.

Se utilizó el método (AOAC 2003.06):

OBJETIVO

Determinar la concentración de la materia grasa cruda o extracto etéreo libre.

FUNDAMENTO

Una cantidad previamente homogeneizada y seca, fue pesada y sometida a una extracción con éter etílico, libre de peróxidos. Posteriormente, se realizó la extracción total de la materia grasa libre por soxhlet.

MATERIAL Y EQUIPO

- Sistema extractor Soxhlet
- Balanza analítica
- Papel filtro o dedal de celulosa
- Baño termorregulador
- Estufa de aire $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Tamiz de malla de 1 mm
- Rota vapor
- Material usual de laboratorio

REACTIVOS

- Éter etílico P.E. $40-60^{\circ}\text{C}$
- Éter de petróleo P.E. $40-60^{\circ}\text{C}$

PROCEDIMIENTO

- Se consideró para muestras con mucha humedad homogeneizar y secar a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en estufa de aire considerando el tipo de muestra.
- Se molió y pasó por tamiz de malla de 1 mm
- Se pesó por duplicado 2 a 5 gramos de muestra preparada en el dedal de extracción o papel filtro previamente pesado y tapado con algodón desgrasado. Se registró (m)
- Se secó el matraz de extracción por 30 min a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Se pesó el matraz de extracción. Se registró (m_1)
- Se puso el matraz de extracción en el sistema soxhlet el dedal en el tubo de extracción y se adicionó el solvente al matraz.
- Se extrajo la muestra con el solvente por 6 horas a una velocidad de condensación de 3-6 gotas/seg.
- Una vez terminada la extracción se eliminó el solvente por evaporación en rota vapor. Hasta desaparición de olor a éter.
- Se secó el matraz con la grasa en estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 10 min, se enfrió en desecador y pesó. Se registró (m_2).

CÁLCULO Y RESULTADOS

$$\% \text{ grasa cruda} = [(m_2 - m_1)/(m)] \times 100$$

Donde:

m: peso de la muestra

m₁: tara del matraz solo

m₂: peso matraz con grasa.

$$\% \text{ grasa cruda en base seca} = \% \text{grasa cruda} \times 100 / (100 - \% \text{ humedad})$$

Donde:

m: peso de la muestra

m₁: tara del matraz solo

m₂: peso matraz con grasa.

3.10.4. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA EN HARINA DE ATACO

Se utilizó el método CHOW et. al. (1980):

OBJETIVO

Determinar la concentración de proteína cruda en la muestra.

FUNDAMENTO

Su análisis se efectuó mediante el método de Kjeldahl, mismo que evaluó el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico.

REACTIVOS

- Óxido de mercurio, grado reactivo.

- Sulfato de potasio o sulfato de sodio anhidro, grado reactivo.
- Ácido sulfúrico (98%), libre de Nitrógeno.
- Parafina.
- Solución de hidróxido de sodio al 40%; disolver 400 g de hidróxido de sodio en agua y diluir a 1,000 ml.
- Solución de sulfato de sodio al 4%.
- Solución indicadora de ácido bórico; agregue 5 ml de una solución con 0.1% de rojo de metilo y 0.2% de verde de bromocresol a un litro de solución saturada de ácido bórico.
- Solución estándar de ácido clorhídrico 0.1N.

MATERIALES Y EQUIPO

- Unidad de digestión y destilación Kjeldahl.
- Matraces Kjeldahl de 500 ml.
- Matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- Perlas de ebullición.

PROCEDIMIENTO

- Se pesó 1g de muestra y colocó en el matraz Kjeldahl; se agregó 10g de sulfato de potasio, 0.7g de óxido de mercurio y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Se colocó el matraz en el digestor en un ángulo inclinado y caliente a ebullición hasta que la solución se vea clara, se continuó calentando por media hora más, adiciónale un poco de parafina en caso de aparición de espuma.
- Se dejó enfriar; durante el enfriamiento se adicionó poco a poco alrededor de 90 ml de agua destilada y desionizada. Ya frío se agregó 25 ml de solución de sulfato de sodio y se mezcló
- Se agregó una perla de ebullición y 80 ml de la solución de hidróxido de sodio al 40% manteniendo inclinado el matraz. (Se formaron dos capas).

- Se conectó el matraz a la unidad de destilación, caliente y se colectó 50 ml del destilado conteniendo el amonio en 50 ml de solución indicadora.
- Al terminar de destilar, se removió el matraz receptor, se enjuagó la punta del condensador y tituló con la solución estándar de ácido clorhídrico.

CÁLCULOS:

A = Ácido clorhídrico usado en la titulación (ml)

B = Normalidad del ácido estándar

C = Peso de la muestra (g)

$$\text{Nitrógeno en la muestra (\%)} = 100[(A \times B)/C \times 0.014]$$

$$\text{Proteína cruda (\%)} = \text{Nitrógeno en la muestra} \times 6.25$$

3.10.5. DETERMINACIÓN DE FIBRA EN HARINA DE ATACO

Utilizando el método (AOAC 962.09):

OBJETIVO

Determinar fibra cruda en diversos tipos de alimentos.

CAMPO DE APLICACIÓN

El método es aplicable a granos, platos preparados, harinas, alimentos para animales, materiales que contienen fibra de los cuales la grasa ha sido extraída para dejar un residuo adecuado.

FUNDAMENTO

Fibra cruda es la pérdida de masa que corresponde a la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones específicas.

MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

- Aparato de calentamiento a reflujo.
- Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg.
- Crisoles de porcelana.
- Desecador con deshidratante adecuado (silicagel con indicador u otro). Dispositivo de succión al vacío.
- Embudo Büchner de polipropileno tipo California u otra alternativa equivalente. Estufa a 103 ± 2 °C.
- Tamiz de malla 1 mm
- Placa calefactora capaz de llevar 200 ml de agua a 25 °C. Hasta ebullición en 15 ± 2 min.
- Material usual de laboratorio.

REACTIVOS

- Solución de ácido sulfúrico 0.255 N (1.25 g de H_2SO_4 /100 ml).
- Solución de hidróxido de sodio 0.313 N (1,25 g de NaOH / 100 de agua libre de Na_2CO_3).
- Fibra cerámica: se colocó 60 g en una juguera, agregar 800 ml de agua y mezclar por un minuto a baja velocidad. Se determinó el blanco tratando aproximadamente 2 g (peso seco) de la fibra cerámica preparada con ácido y álcalis, se corrigió los resultados de fibra cruda por el blanco, el cual debe ser insignificante (aproximadamente 2 mg).
- Silicona Antiespumante.
- Etanol al 95%.
- Éter de petróleo, P.E. 40 – 60 °C. 7.0.

PROCEDIMIENTO

- Se preparó la muestra.
- Se homogeneizó, secó 103 ± 2 °C en estufa de aire, de acuerdo a las técnicas indicadas en la referencia, considerando el tipo de muestra.
- Se pasó por un tamiz de malla de 1 mm
- Se extrajo con éter de petróleo.
- Se realizó el análisis en duplicado.
- Se pesó a 0.1 mg de alrededor de 2 g de muestra preparada y transfirió en al matraz del aparato de calentamiento a reflujo. Se registró (s)
- Se agregó 1.5 a 2.0 g de fibra cerámica preparada.
- Se agregó 200 ml de H_2SO_4 0.255 N, hirviendo, gotas de antiespumante y perlas de vidrio.
- Se conectó el aparato de calentamiento a reflujo e hirvió durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente.
- Se desmontó el equipo y filtró a través del embudo Büchner.
- Se lavó con 50 a 75 ml de agua hirviendo, se repitió el lavado con 3 porciones de 50 ml de agua.
- Se retornó el residuo al aparato de calentamiento a reflujo e hirvió durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente.
- Se lavó con 25 ml de H_2SO_4 0.255 N hirviendo, con 3 porciones de 50 ml de agua hirviendo y con 25 ml de etanol al 95%.
- Se removió el residuo y transfirió al crisol.
- Se secó en estufa a 130 ± 2 °C por 2 horas, se enfrió en desecador y se pesó. Se incineró 30 minutos a 600 ± 15 °C, y enfrió en desecador y se pesó.
- Se determinó un blanco en las mismas condiciones que la muestra.

CÁLCULOS Y RESULTADOS

% Fibra cruda muestra molida = C = (Pérdida de peso en la incineración – pérdida de peso del blanco de fibra cerámica) $\times 100$ / peso de la muestra.

$$\% \text{Fibra cruda (húmeda)} = C \times (100 - \% \text{ Humedad muestra original}) / 100$$

3.10.6. DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS EN HARINA DE ATACO

Se utilizó el método propuesto por Dubois et al., en 1959:

DETERMINACION DE CARBOHIDRATOS TOTALES POR ESPECTROFOTOMETRIA UV (METODO DE FENOL-SULFURICO)

FUNDAMENTO

El método por espectrofotometría UV hace referencia al uso de la luz para medir las concentraciones de ciertas sustancias químicas. Para que este fenómeno pueda llegar a medirse se debe tener presente la concentración de las especies absorbentes dado a que esta es proporcional a la absorbancia según la ley de lambert-beer

$$A = e \times b \times c$$

Donde:

A: es la absorbancia (magnitud adimensional)

e: coeficiente de extinción molar, se expresa en $M^{-1} \cdot cm^{-1}$.

b: ancho o espesor de la celda donde se deposita la muestra, (cm).

c: concentración molar

La reacción de color para medir la concentración de carbohidratos solubles por espectrofotometría se basa en la utilización del método colorimétrico de fenol-sulfúrico que depende de la deshidratación de sacáridos derivados de hidrolizados a furfural que transcurre en el proceso de la reacción. Los derivados del furfural con las formas del fenol coloreado absorbe la luz en el rango visible a una longitud de onda de 490 nm.

REACCIÓN

FENOL+ H_2SO_4 (concentrado) + CARBOHIDRATO HMF (amarillo naranja)

Para hexosas (hidroximetil furfural)

Para pentosas (metil furfural)

METODOLOGIA

- A 2 ml de alícuota de una solución de hidratos de carbono se mezcló con 1 ml de solución acuosa al 5% de fenol en un tubo de ensayo.
- Posteriormente, se añadió 5 ml de ácido sulfúrico concentrado rápidamente a la mezcla.
- Luego los tubos de ensayo se dejaron en reposo durante 10 min, se agitó durante 30 segundos y se colocó durante 20 min en un baño de agua a temperatura ambiente para el desarrollo de color.
- El blanco y la solución patrón se prepararon conforme al procedimiento anteriormente descrito, utilizando el carbohidrato de interés. Finalmente se llevó a una celda donde se depositó en el espectrofotómetro para programar la longitud de onda a 490 nm y se procedió a leer la absorbancia (Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J., Rebers, P. y F. Smith, 1956).
- Se preparó de la curva patrón
- Se procedió a determinar las diferentes concentraciones del carbohidrato partiendo de 0.01 % que indica 0.1 gramos en 1000 ml de agua. Posteriormente se tomaron alícuotas de 0.1; 0.2; 0.3 y se completó a volumen para 1.0 ml con agua destilada. Por último se añadió el fenol y el ácido sulfúrico siguiendo la metodología anterior, para fueron leídas en el espectrofotómetro (R. Matissek, F.M. Schnepel y G. Steiner, 1992).

RESULTADOS

- Para leer los resultados de la muestra analizada, fue necesario construir una curva de calibración a diferentes concentraciones con el carbohidrato de interés (disacáridos y monosacáridos) y se determinó la absorbancia.
- Para calibrar el espectrofotómetro se procedió a ubicar el blanco provisto en la celda, se lo ajustó al 100% de transmitancia y 0,000 de absorbancia.
- Una vez obtenida la absorbancia de cada concentración, se graficó absorbancia vs. concentración de cada solución preparada.
- La ecuación de linealidad que arrojó la gráfica de la curva patrón se tomó como referencia para hallar matemáticamente la concentración del azúcar presente en la muestra.
- Luego se procedió a medir la absorbancia de la muestra de interés.

Entonces:

$Y = mx + b$ (ecuación de linealidad expresada en la curva patrón)

Donde

Y: es la absorbancia del analito **m.** es la pendiente (valor numérico) que tomo de la ecuación de linealidad de la curva patrón

x: es el dato que no conozco

b: es el intercepto (valor numérico) que tomo de la ecuación de linealidad de la curva patrón teniendo en cuenta los datos de la ecuación lineal despejamos **x** (lo tomamos como concentración del analito).

3.10.7. DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN EN HARINA DE ATACO

Se utilizó la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN-ISO 10520:2014):

OBJ ETO

Esta norma establece el método para determinar el contenido de almidón en harinas de origen vegetal.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Mortero de porcelana.
- Tamiz 149 μm
- Tubos de centrífuga, de 50 cm^3 , de fondo redondo y borde en la boca.
- Centrífuga.
- Probeta graduada, de 250 cm^3 .
- Matraz Erlenmeyer, de 250 cm^3 .
- Plancha de calentamiento, con regulador de temperatura.
- Tela metálica con asbesto.
- Matraz aforado, de 100 cm^3 .
- Embudo acanalado con papel filtro, wathman No. 12 o filtro de vidrio poroso o embudo tipo Hirsch.
- Tubos de polarización, de 100 o de 200 mm de longitud.
- Polarímetro o sacarímetro.
- Fuente de luz monocromática o filtro para obtener luz monocromática.
- Piceta o frasco lavador.
- Balanza analítica, sensible al 0,1 mg.

REACTIVOS

- Solución al 33% de cloruro de calcio.
- Solución al 0,8% de ácido acético.
- Alcohol etílico al 65% d = 0,88 a 20°C.
- Muestras acondicionadas en recipientes herméticos, limpios, secos, completamente llenos para evitar que se formen espacios de aire.
- Se homogenizó la muestra invirtiendo varias veces el recipiente que la contiene.

PROCEDIMIENTO

- Se realizó por duplicado sobre la misma muestra preparada.
- La muestra de harina de origen vegetal, fue pulverizada finamente, se pasó a través de un tamiz de abertura correspondiente a $149\ \mu\text{m}$.
- Se pesó, con aproximación al $0,1\ \text{mg}$, $2\ \text{g}$ a $2,5\ \text{g}$ de muestra y se transfirió al tubo de la centrífuga de $50\ \text{cm}^3$; se añadió $10\ \text{cm}^3$ de éter para remover la grasa, luego $10\ \text{cm}^3$ de alcohol de 65% y se agitó cuidadosamente con una varilla de vidrio. Se colocó el tubo y su contenido en la centrífuga por dos minutos, se decantó el solvente y, se repitió el lavado usando $60\ \text{cm}^3$ del líquido lavador, agitando frecuentemente.
- Se agitó el residuo con $10\ \text{cm}^3$ de agua destilada y transfirió al matraz Erlenmeyer de $250\ \text{cm}^3$
- Se terminó esta transferencia usando para el lavado un total de $60\ \text{cm}^3$ de la solución de cloruro de calcio que con $2\ \text{cm}^3$ de ácido acético al 0,8%; y se colocó la varilla de vidrio en el matraz Erlenmeyer.
- Se colocó el matraz Erlenmeyer y su contenido sobre la tela metálica con asbesto puesta sobre la plancha de calentamiento y llevó a ebullición, agitando frecuentemente; se continuó la ebullición de 15 a 17 minutos, tomando las precauciones necesarias para evitar el quemado y la espuma.
- Se enfrió rápidamente la solución puesta en el matraz Erlenmeyer colocándolo bajo una llave de agua corriente y transferir la solución al matraz aforado de $100\ \text{cm}^3$
- Se lavó cuidadosamente las paredes del matraz Erlenmeyer con la solución de cloruro de calcio, contienda en una piceta, hasta completar el volumen. Para destruir la espuma, se agregó una gota de alcohol.
- Se agitó cuidadosamente el matraz aforado con su contenido y filtró a través del embudo acanalado, desechando los $10\ \text{cm}^3$ primeros del líquido filtrado. Se llenó con el líquido filtrado dos tubos de polarización de $100\ \text{mm}$ de longitud, se colocó en el polarímetro y tomó 10 lecturas de cada uno de ellos.

CÁLCULOS

Se calculó mediante la ecuación siguiente:

a) Para polarímetro o sacarímetro con tubo de 100 mm:

$$A = (100 \times R \times 100) / (1 \times 203 \times m (100 - H)) = (49 \times R) / m (100 - H)$$

Donde:

A: contenido de almidón en la harina, en porcentaje de masa, base seca.

R: ángulo de rotación observado.

m: masa de la muestra, (g)

H: porcentaje de humedad en la muestra.

203: valor arbitrario tomado como rotación específica para todos los almidones, hasta que se determinen mejores factores individuales para cada tipo de almidón.

RESULTADOS

Como resultado final, se reportó la media aritmética de los resultados de la determinación.

3.11. METODOLOGÍA PARA LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

Para la extracción de almidón se utilizaron los métodos descritos por (Fernández, 1998) utilizando agua bidestilada (método 1) y una solución de NaOH 0,25 M (método 2) respetando las proporciones de harina-solvente en relación (1:3) a temperatura ambiente de 16°C aproximadamente y en reposo durante 24 horas, en ambos casos son métodos de extracción con solvente.

Cada método se aplicó de manera simultánea e independiente y por triplicado, adicionalmente se repitió el proceso de extracción tres veces durante tres días diferentes.

OBJETIVO

Extraer almidón de la harina de ataco utilizando dos solventes diferentes.

MATERIALES Y EQUIPO

- Matraces Erlenmeyer
- Embudos de separación
- Agitador magnético
- Vasos de precipitación
- Embudos
- Trípodes
- Embudo Büchner
- Bomba de vacío
- Varillas de agitación
- Papel filtro analítico y no analítico
- Estufa
- Vidrio reloj
- Termómetro

REACTIVOS

- Agua destilada
- Agua bidestilada (método 1)
- Hidróxido de sodio (método 2)
- Harina de ataco preparada

PROCEDIMIENTO

- Se colocó 100 g de harina en un matraz Erlenmeyer por ensayo
- Se adicionó 300 mL de solvente al matraz
- Se agitó durante 3 minutos.
- Se dejó reposar por 24 horas.
- Cuando se visibilizaron las dos capas, se retiró el líquido sobrenadante y se filtró con papel Whatman N° 1
- Se lavó de manera especial al líquido procedente de los ensayos alcalinos, hasta obtener un pH cercano a la neutralidad
- Se lavó la capa sedimentada con agua destilada y solución alcalina respectivamente para lograr una re-suspensión de almidones remanentes a la misma concentración respectivamente dejándola reposar solamente algunos minutos hasta observar una separación de fases para luego repetir los procedimientos y llegar a la filtración sobre los mismos filtros iniciales repitiendo también el lavado.
- Se secó a temperaturas entre 45° y 50°C por 24 horas el producto obtenido en los filtros proveniente de los dos ensayos de extracción tanto con agua bidestilada como con solución de NaOH
- Se pesó los filtros secos para obtener masas de almidón
- Se procedió a los cálculos del rendimiento del almidón seco en función de la harina de ataco expresado como porcentaje.

Adicionalmente se evaluó los dos métodos de extracción y se seleccionó el más eficiente de acuerdo al rendimiento con la ayuda de un análisis de varianza de los datos obtenidos experimentalmente en laboratorio.

Cuadro 9: Esquema del análisis de varianza para la selección del método de extracción

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	FÓRMULA
Tratamientos	1	T-1
Error A	6	T(r-1)
Total	7	(Txr)-1

Tratamientos utilizados: T1=tratamiento vía húmeda; T2=tratamiento alcalino

Fuente: Juan González G. 2016

3.12. MEDICIÓN DE PROPIEDADES EN EL ALMIDÓN OBTENIDO

3.12.1. ANÁLISIS PROXIMAL DEL ALMIDÓN

Se realizó el análisis proximal del almidón: (mismos parámetros que en la harina) siguiendo las mismas normas citadas anteriormente (AOAC y NTE-INEN). Adicionalmente siguiendo la técnica descrita por Beta et al., (2000) se procedió a la determinación de amilosa y tomando en cuenta que el almidón sólo posee dos moléculas constituyentes por diferencia de peso se determinó el porcentaje de amilopectina.

3.12.2. DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

La técnica usada (ISO, 1987):

OBJETIVO

Determinar la cantidad de amilosa contenida en una muestra de almidón

MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanza analítica
- Espectrofotómetro
- Frascos volumétricos de 100 mL
- Pipetas volumétricas de 1 a 5 mL
- Agua destilada
- Etanol al 95 por ciento (v/v)
- Amilosa estándar
- Amilopectina estándar

PROCEDIMIENTO

- Se tomó 20 g de almidón.
- Se procedió a gelatinizar con una cantidad de agua.
- Se adicionó unas gotas de solución con yodo.
- Se dejó reposar unos minutos.
- Se leyó en el colorímetro.
- Se construyó una curva de calibración.

CÁLCULOS Y RESULTADOS

- El cálculo del contenido de amilosa se realizó directamente de la curva estándar y se expresó como porcentaje.
- El contenido de amilopectina se obtuvo restando el contenido de amilosa del contenido de almidón.

Dentro de las propiedades funcionales de los almidones se determinó tanto el índice de absorción de agua (IAA), como la solubilidad en agua (ISA) para los cuales se utilizaron las técnicas expuestas por Anderson et al., en el año 1969, basándose en las propiedades de absorción y exudación de los gránulos de almidón en contacto con el agua, lógicamente la técnica se adaptó a la

necesidad de la investigación ya que el autor y su grupo originalmente trabajaron con almidon de yuca.

3.12.3. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA E ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA DEL ALMIDÓN

Cuando se calienta una solución de almidón, los gránulos absorben agua aumentando su tamaño. Al medir estos índices se muestra la capacidad de absorción del agua de los gránulos de almidón y la liberación de la misma al aumentar la temperatura de las soluciones de almidón.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanza analítica.
- Baño con calentamiento constante
- Centrífuga
- Tubos de centrífuga plásticos de 50 mL
- Vasos de precipitado de vidrio de 50 mL
- Horno con temperatura constante
- Pipeta volumétrica de 10 mL
- Pipeteador de 30 mL

PROCEDIMIENTO

- Se pesó tubos de centrifuga secos a 60 °C.
- Se pesó en los tubos 1,25 g de almidón y agregó exactamente 30 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitó.
- Se colocó en baño de agua a 60 °C durante 30 minutos; se agitó la suspensión a los 10 minutos de haber iniciado el calentamiento.
- Se centrifugó a temperatura ambiente a 4900 RPM durante 30 minutos. Y se decantó el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (un minuto después) y se midió el volumen.

- Se tomó 10 mL del sobrenadante y colocó en un vaso de precipitados de 50 mL.
- Se secó el sobrenadante en un horno durante toda la noche a 70 °C.
- Se pesó el tubo de centrífuga con el gel.
- Se pesó el vaso de precipitados con los insolubles.

CÁLCULOS Y RESULTADOS

Índice de absorción de agua (IAA) = [Peso del gel (g)]/[Peso muestra]

Índice de solubilidad en agua (ISA) = [Peso solubles×V×10]/Peso muestra

También se determinó la temperatura de gelatinización del almidón para lo cual se utilizó la técnica descrita por Grace, en el año 1977, fundamentada en el hinchamiento de los gránulos de almidón en función de la temperatura.

3.12.4. TEMPERATURA DE GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; cuando se calientan en solución a temperaturas altas alcanzan una temperatura específica en la cual se inicia el hinchamiento de los gránulos. Esta temperatura es llamada temperatura de gelatinización.

MATERIALES Y EQUIPOS

- Balanza analítica con una precisión de 0,01 g
- Plancha de calentamiento
- Vasos de precipitado de vidrio de 100 y 250 mL
- Frascos volumétricos de 100 mL
- Pinzas de acero inoxidable
- Termómetro con escala de 0-100 °C

PROCEDIMIENTO

- Se pesó 10 g de almidón y disolvió en agua destilada y completó a 100 mL.
- Se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 mL a 85 °C.
- Se tomó 50 mL de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 mL.
- Se introdujo el vaso de precipitado con la muestra en el agua a 85 °C.
- Se agitó constantemente la suspensión de almidón hasta que se formó una pasta y se midió la temperatura hasta que permanezca estable por unos segundos.
- Se leyó la temperatura de gelatinización.

CÁLCULOS Y RESULTADOS

La temperatura de gelatinización se lee directamente en el termómetro.

3.13. DOSIFICACIÓN DE ADITIVOS.

Para cada experimento se utilizó ciertas sustancias en cantidades invariables como base para el desarrollo del polímero biodegradable, tales como: Almidón (10 g) como base polimérica; Agua (10 mL) para plasticidad y humedad; NaCl (1 g) como potenciador de transparencia y Aceite de soya (2 mL) como lubricante y desmoldante.

Los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten: humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, para lo cual se seleccionaron aditivos en diferentes cantidades, tales como: Glicerina (Gli) como lubricante y suavizante; Alcohol polivinílico (PVA) como plastificante e Hidroxietílcélulosa (HEC) como extensor.

Cuadro 10: Aditivos para potenciar propiedades poliméricas.

ADITIVO Y PROPORCIÓN RECOMENDADA					
Agua (10-15%)	Glicerina (5-10%)	PVA (<20%)	Aceite de Soya (0,5-2%)	NaCl (0,5-2%)	HEC (0,5-2%)
10	5	5	2	1	0,5
10	5	5	2	1	0,5
10	5	5	2	1	0,5
10	10	10	2	1	1
10	10	10	2	1	1
10	10	10	2	1	1
10	15	15	2	1	2
10	15	15	2	1	2
10	15	15	2	1	2

Fuente: Juan González G. 2016

Cuadro 11: Análisis de varianza para dosificación de aditivos

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD	FÓRMULA
Factor A	2	(A-1)
Factor B	2	(B-1)
Factor C	2	(C-1)
AxB	4	(A-1)(B-1)
AxC	4	(A-1)(C-1)
BxC	4	(B-1)(C-1)
AxBxC	8	(A-1)(B-1)(C-1)
Error	54	(C-1)(AxBxR)
Total	80	(AxBxCxR) -1

Fuente: Juan González G. 2016

Para los ensayos de estabilidad del polímero frente a la acción del agua se utilizó la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 62:2013 número de referencia ISO 62:2008 “Plásticos - Determinación de la Absorción de agua”.

3.14. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES IMPORTANTES EN EL POLÍMERO OBTENIDO

3.14.1. ABSORCIÓN DE AGUA DEL POLÍMERO

Con este ensayo se determinó los cambios dimensionales motivados por la absorción de agua; la extracción de los constituyentes solubles en agua; y cambios en otras propiedades, se ha adaptó el método aplicado a un polímero de origen vegetal para lo cual se procedió de la siguiente manera:

OBJETIVO

Determinar cuán estable es el polímero obtenido en exposición al agua.

PROCEDIMIENTO

- Se moldearon láminas de polímero de almidón de ataco de 2 cm de ancho x 4 cm de largo y por 0,2 cm de espesor. (Por triplicado)
- Se los sumergió en agua destilada por un periodo de 24 horas.
- Se verificó la variación de sus dimensiones; desprendimiento de materiales; cambios en otras propiedades en función del tiempo.
- Las láminas se secaron y nuevamente se verificó cambios de peso y dimensiones de las mismas.

Finalmente se sometió al polímero de almidon de ataco a ensayos frente a gradientes de temperatura, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

3.14.2. ENSAYOS DE ESTABILIDAD TÉRMICA DEL POLÍMERO

OBJETIVO

Verificar la estabilidad del polímero obtenido frente a gradientes de temperatura.

PROCEDIMIENTO

- Se moldearon láminas de polímero de almidón de Ataco de 2 cm de ancho x 4 cm de largo y por 0,2 cm de espesor. (Por triplicado)
- Se los sometió a varias temperaturas en una estufa.
- Se verificó la variación de sus dimensiones; desprendimiento de materiales; cambios en otras propiedades en función del tiempo.

RESULTADOS

Se reportan en función de los cambios físicos en la lámina de polímero, como porcentaje de variación en comparación con las dimensiones iniciales.

3.15. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

Los datos obtenidos en los ensayos experimentales y del análisis químico del trabajo de analizaron con el programa INFOSTAT, considerando las variables tomadas en cuenta en esta investigación se estudiaron las varianzas para detectar la diferencia entre medias en las repeticiones. También se realizó el análisis DMS que nos proporcionó la intensidad de la relación lineal existentes entre las variables. Así mismo se utilizó el software Excel para los cálculos y análisis básicos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Dentro de los resultados preliminares obtenidos se establece que:

El tamaño de las semillas de ataco oscila entre 0,7 y 1,0 mm de diámetro y su una densidad aproximada de $0,7 \text{ g/cm}^3$, presentan un color morado oscuro, como se muestra en la figura siguiente:



Figura 7: Semillas de ataco.

Fuente: González, J. 2016

La harina obtenida de las semillas de ataco presenta un color blanquecino con un leve color morado debido a la presencia de pigmentos y residuos procedentes de la corteza de las mismas, como se muestra en la figura 8 siguiente:



Figura 8: Harina de ataco.

Fuente: González, J. 2016

El análisis proximal realizado a las muestras de harina de ataco muestra los siguientes valores promedio en el cuadro 12:

Cuadro 12: Análisis proximal de la harina de ataco

MEDICIÓN	HUMEDAD %	CARBOHIDRATOS %	CENIZAS %	GRASA %	FIBRA CRUDA %	PROTEÍNA %
M1	9,41	55,45	3,77	6,89	14,56	17,05
M2	9,88	52,67	3,23	7,01	13,92	16,98
M3	9,67	53,98	3,45	7,22	14,14	16,9
M4	8,96	56,23	3,47	7,23	15,02	16,78
M5	9,23	54,78	3,11	7,31	14,89	16,74
M6	9,46	55,12	3,34	7,16	14,8	16,79
M7	10,02	56,24	3,68	7,54	14,34	16,58
M8	9,86	54,76	3,56	7,24	14,56	16,45
M9	9,78	56,33	3,65	7,81	14,77	16,73
PROMEDIO	9,59	55,06	3,47	7,27	14,56	16,78

Fuente: González, J. 2016

Los resultados referentes a la aplicación de los dos métodos de extracción de almidón de semillas de ataco se detallan a continuación en los cuadros 13 y 14:

Cuadro 13: Rendimiento de extracción método 1

EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN UTILIZANDO AGUA BIDEDESTILADA				
MEDICIÓN	SEMILLAS ATACO (g)	HARINA ATACO (g)	ALMIDÓN (g)	RENDIMIENTO (g/100g de harina)
M1	100	46,82	6,13	13,11
M2	100	45,80	5,97	13,03
M3	100	47,67	5,87	12,31
Promedio	100	46,76	5,99	12,82

Fuente: González, J. 2016

Cuadro 14: Rendimiento de extracción método 2

RENDIMIENTO DE ALMIDÓN EXTRAÍDO CON ÁLCALI (NaOH)				
MEDICIÓN	SEMILLAS DE ATACO (g)	HARINA DE ATACO (g)	ALMIDÓN (g)	RENDIMIENTO (g/100g de harina)
M1	100	48,78	9,15	19,43
M2	100	46,71	8,99	19,24
M3	100	47,62	8,75	18,37
Promedio	100	47,70	8,96	19,01

Fuente: González, J. 2016

Claramente se pueden observar que en todos los ensayos el método de extracción con álcali resultó superior con rendimientos entre 18-20 g/100g de harina en comparación con la extracción con agua que produjo entre 11 y 14 g/100g de harina.

Cuadro 15: Análisis de varianza para rendimiento producción almidón

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	57,6	1	57,6	224,31	0,0001
Error	1,03	4	0,26		
Total	58,63	5			
C.V.	3,18				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 15, que el rendimiento de la extracción de almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0001, lo que significa que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 3,18%.

Cuadro 16: Prueba de DMS al 5% para rendimiento producción almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
HIDRÓXIDO	19,01	A	
AGUA	12,82		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 19,01% de rendimiento corresponde al método alcalino y B con una media de 12,82% corresponde al método de extracción con agua.

En general, los rendimientos calculados resultan relativamente bajos si comparamos con los obtenidos con otras especies de plantas como vemos en el cuadro siguiente:

Cuadro 17. Rendimientos de extracción de almidón de otras plantas

Planta	Rendimiento %
Harina de cotiledones de mango	40-50*
Harina de plátano	55-60**
Harina de maíz	80-90**

*mismos métodos de extracción , **otros métodos de extracción

Fuente: Medina, C. 2010

Valores por encima de los obtenidos del ataco, pueden atribuirse al método, ya que hay variaciones en su aplicación y también a la procedencia de la harina de partes diferentes de la planta.

Se realizó también el análisis proximal del almidón extraído para los dos métodos, los valores obtenidos podemos ver en la siguiente tabla:

Cuadro 18: Análisis proximal del almidón, dos métodos

CONTENIDO	EXTRACCIÓN CON AGUA	EXTRACCIÓN CON NaOH
Humedad (%)	10,64	13,61
Almidón total (%)	88,34	90,49
Grasa (%)	2,20	0,82
Proteína cruda (%)	3,67	2,63
Cenizas (%)	0,21	0,07
Fibra cruda (%)	2,81	2,10
Carbohidratos totales (%)	1,63	2,01

Fuente: González, J. 2016

Todos los resultados de las propiedades analizadas en el almidón extraído por los dos métodos se muestran en los cuadros del 19 al 30, a continuación:

Cuadro 19: Análisis de varianza para la humedad del almidón

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
MÉTODOS	13,26	1	13,26	565,1	<0,0001
Error	0,09	4	0,02		
Total	13,35	5			
C.V.	1,26				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 19, que la humedad del almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es $<0,0001$, lo que significa que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 1,26%.

Cuadro 20: Prueba de DMS al 5% para humedad del almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
HIDRÓXIDO	13,61	A	
AGUA	10,64		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 13,61% de humedad corresponde al método alcalino y B con una media de 10,64% corresponde al método de extracción con agua.

Cuadro 21: Análisis de varianza para carbohidratos del almidón

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
MÉTODOS	0,21	1	0,21	40,8	0,0031
Error	0,02	4	0,01		
Total	0,23	5			
C.V.	3,96				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 21, que el porcentaje de carbohidratos del almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0031, lo que significa que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 3,96%.

Cuadro 22: Prueba DMS al 5% para carbohidratos del almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
HIDRÓXIDO	2,01	A	
AGUA	1,63		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 2,01% de carbohidratos corresponde al método alcalino y B con una media de 1,63% corresponde al método de extracción con agua.

Cuadro 23: Análisis de varianza para la fibra del almidón

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	0,76	1	0,76	106,50	0,0005
Error	0,03	4	0,01		
Total	0,78	5			
C.V.	3,43				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 23, que el porcentaje de fibra de almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0005, lo que indica que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 3,43%.

Cuadro 24: Prueba DMS al 5% para fibra de almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	2,81	A	
HIDRÓXIDO	2,1		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 2,81% de carbohidratos corresponde al método de extracción con agua y B con una media de 2,10% corresponde al método alcalino.

Cuadro 25: Análisis de varianza para cenizas del almidón

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	0,03	1	0,03	242,00	0,0001
Error	0,00053	4	0,0003		
Total	0,03	5			
C.V.	8,25				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 25, que el porcentaje de cenizas de almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0001, lo que indica que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 8,25%.

Cuadro 26: prueba DMS al 5% para cenizas del almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	0,21	A	
HIDRÓXIDO	0,07		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 0,21% de carbohidratos corresponde al método extracción con agua y B con una media de 0,07% corresponde al método alcalino.

Cuadro 27: Análisis de varianza para proteínas del almidón

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	1,63	1	1,63	283,15	0,0001
Error	0,02	4	0,01		
Total	1,66	5			
C.V.	2,41				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 27, que el porcentaje de proteínas de almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0001, lo que implica que

existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 2,41%.

Cuadro 28: prueba DMS al 5% para proteínas del almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	3,67	A	
HIDRÓXIDO	2,63		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 3,67% de proteínas corresponde al método de extracción con agua y B con una media de 2,63% corresponde al método alcalino.

Cuadro 29: Análisis de varianza para porcentaje de almidón

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	6,91	1	6,91	24,39	0,0078
Error	1,13	4	0,28		
Total	8,05	5			
C.V.	0,60				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 29, que el porcentaje de almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0078, lo que significa que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 0,60%.

Cuadro 30: Prueba DMS al 5% para porcentaje de almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	90,49	A	
HIDRÓXIDO	88,34		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 90,49% de cenizas corresponde al método extracción con agua y B con una

media de 88,34% corresponde al método alcalino. En todos los casos el método de extracción influye en el contenido de los diferentes componentes del almidón.

Los resultados del análisis de componentes del almidón (amilosa-amilopectina) se muestran en los siguientes cuadros:

Cuadro 31: Relación porcentual amilosa-amilopectina, extracción con agua

MEDICIÓN	%AMILOSA/ %AMILOPECTINA
M1	22,85/77,15
M2	21,89/78,11
M3	23,34/76,66
M4	22,13/77,87
M5	21,67/78,33
M6	22,95/77,05
M7	20,78/79,22
M8	22,04/77,96
M9	20,66/79,34
Promedio	22,03/77,97

Fuente: González, J. 2016

Cuadro 32: Relación porcentual amilosa-amilopectina, extracción con álcali

MEDICIÓN	%AMILOSA/ %AMILOPECTINA
M1	23,78/76,22
M2	22,96/77,04
M3	23,67/76,33
M4	24,55/75,45
M5	23,98/76,02
M6	24,17/75,83
M7	24,76/75,24
M8	25,07/74,93
M9	24,37/75,63
Promedio	24,15/75,85

Fuente: González, J. 2016

Los valores obtenidos son los esperados ya que generalmente la cantidad de amilosa está en el orden del 15 al 25% mientras que el de amilopectina está en aproximadamente 75-85%. Por ejemplo en el maíz la relación %amilosa/%amilopectina es de (25-75%); makal (24-76%); camote (20-80%); yuca (17-83%). (Hernández M. et al., 2008). A continuación se puede ver en los siguientes cuadros el análisis de varianza para los dos componentes del almidón.

Cuadro 33: Análisis de varianza para porcentaje de amilopectina del almidón.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	20,06	1	20,06	31,86	< 0,0001
Error	10,07	16	0,63		
Total	30,13	17			
C.V.	1,03				

Fuente: González, J. 2016

Se observa en el cuadro 33, que el porcentaje de amilopectina de almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0001, lo que implica que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 1,03%.

Cuadro 34: Prueba DMS al 5% para porcentaje de amilopectina del almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	77,97	A	
HIDRÓXIDO	75,85		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 77,97% de contenido de amilopectina en el almidón extraído corresponde al método extracción con agua y B con una media de 75,85% corresponde al método alcalino.

Cuadro 35: Análisis de varianza para porcentaje de amilosa en el almidón.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	20,06	1	20,06	31,86	< 0,0001
Error	10,07	16	0,63		
Total	30,13	17			
C.V.	3,44				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 35, que el porcentaje de amilosa en el almidón depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0001, lo que significa que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 3,44%.

Cuadro 36: Prueba DMS al 5% para porcentaje de amilosa del almidón

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	24,15	A	
HIDRÓXIDO	22,03		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 24,15% de contenido de amilosa en el almidón extraído corresponde al método extracción con agua y B con una media de 22,03% corresponde al método alcalino.

La proporción amilosa-amilopectina presentes en el almidón producido dependen del métodos de extracción. Tenemos mayor proporción de amilosa utilizando extracción con hidróxido y en el caso de amilopectina tiene mayor proporción utilizando agua.

Se determinaron también algunas propiedades funcionales tales como el IAA, ISA y temperatura de gelatinización del almidón de harina de ataco, cuyos resultados se muestran en los siguientes cuadros:

Cuadro 37: Propiedades funcionales del almidón extraído con agua.

Medición	Absorción de agua (g almidón/g muestra)	Solubilidad en agua (g almidón/g muestra)	Temperatura de Gelatinización (°C)
M1	1,23	3,43	71,8
M2	1,29	3,27	69,5
M3	1,27	3,88	68
M4	1,25	4,01	70,2
M5	1,29	3,87	69,3
M6	1,31	3,76	70,4
M7	1,22	3,55	71,5
M8	1,26	3,42	69,8
M9	1,23	3,7	69,2
Promedio	1,26	3,65	69,97

Fuente: González, J. 2016

Cuadro 38: Propiedades funcionales del almidón extraído con álcali.

Medición	Absorción de agua (g almidón/g muestra)	Solubilidad en agua (g almidón/g muestra)	Temperatura de Gelatinización (°C)
M1	1,54	2,98	68,9
M2	1,6	2,87	69,7
M3	1,48	2,91	69,5
M4	1,58	3,78	70,1
M5	1,63	3,34	70,2
M6	1,65	3,12	71,6
M7	1,61	3,26	70,7
M8	1,57	3,11	69,1
M9	1,55	3,35	71,1
PROMEDIO	1,58	3,19	70,1

Fuente: González, J. 2016

El IAA y el ISA medido al producto de los dos métodos de extracción muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) traduciéndose que método influye

directamente en estas dos propiedades funcionales (tablas anteriores). Lo podemos corroborar en las figuras siguientes:

Cuadro 39: Análisis de varianza para el índice de solubilidad en agua

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	0,97	1	0,97	13,58	0,002
Error	1,14	16	0,07		
Total	2,10	17			
C.V.	7,79				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 39, que el índice de solubilidad en agua depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,002, lo que significa que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 7,79%.

Cuadro 40: Prueba DMS al 5% para índice de solubilidad en agua

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	3,65	A	
HIDRÓXIDO	3,19		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 3,65% del índice de solubilidad en agua del almidón extraído corresponde al método extracción con agua y B con una media de 3,19% corresponde al método alcalino.

Cuadro 41: Análisis de varianza del índice de absorción de agua.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
MÉTODOS	0,45	1	0,45	249,19	0,0001
Error	0,03	16	0,008		
Total	0,48	17			
C.V.	3,01				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 41, que el índice de absorción de agua depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,0001, lo que implica que existen diferencias altamente significativas, encontrándose un coeficiente de variación de 3,01%.

Cuadro 42: Prueba DMS al 5% para porcentaje de índice de absorción de agua

MÉTODOS	Medias	RANGO	
AGUA	1,26	A	
HIDRÓXIDO	1,58		B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media de 1,26% del índice de absorción de agua del almidón extraído corresponde al método extracción con agua y B con una media de 1,58% corresponde al método alcalino.

Se nota también que el IAA en promedio es mayor en el método de extracción con álcali, mientras que el ISA es mayor con el método de extracción con agua. Agustiniano-Osorio et al. (2005), señalan valores de IAA entre (0,07 y 0,142) g por cada 100 g de muestra de almidón de mango siendo los valores obtenidos más elevados. Para el caso de almidones de papa y yuca, Alvis et al. (2008) determinaron valores de IAA de 5,3 y 4,8 respectivamente, siendo los valores de IAA medidos en el almidón de ataco bastante bajos, debido

especialmente a la forma y tamaño de los gránulos de la semillas. (Lindeboom *et al.*, 2004)

Los valores de ISA según fuentes revisadas muestran valores de: para el ñame (1,25-2,79%); yuca (2,60-3,70%); papa (2,97%) (Alvis *et al.* 2008) siendo comparables con el obtenido en el almidón de ataco, debido a la relación entre amilosa y amilopectina que en proporción es similar para los almidones referidos, dicha relación define la solubilidad del almidón en agua según Araujo *et al.* (2004)

Finalmente podemos observar que la temperatura de gelatinización para los almidones extraídos (alrededor de 70°C) no tiene variación significativa ligada al método, puesto que dependen de la planta independientemente del método por el cual se los extrajo, tal como se muestra en la figura siguiente:

Cuadro 43: Análisis de varianza para la temperatura gelatinización.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
MÉTODOS	0,08	1	0,08	0,07	0,7913
Error	17,68	16	1,11		
Total	17,76	17			
C.V.	1,50				

Fuente: González, J. 2016

Se puede observar en el cuadro 43, que la temperatura de gelatinización no depende del método utilizado, ya que el p-valor es 0,7913 lo que significa que no existen diferencias significativas.

Cuadro 44: Prueba DMS al 5% para la temperatura de gelatinización

MÉTODOS	Medias	RANGO
AGUA	70,10	A
HIDRÓXIDO	69,97	A

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos un solo rango A para ambos métodos, con una media de 70,10% de temperatura de gelatinización para almidón extraído con agua y con una media de 69,97% corresponde al método alcalino, corroborando que no hay dependencia del método para esta variable.

De acuerdo con investigaciones registradas, una alta temperatura de gelatinización significa mayor estabilidad interna del granulo de almidón además, se ha reportado que la temperatura de gelatinización en raíces y tubérculos es menor que en cereales debido al debilitamiento entre las fuerzas de atracción de las moléculas amilosa-amilopectina. (Imberty, A., Chanzy, H. y Pérez S. 1988).

Comparativamente, investigaciones con otras fuentes de almidón tenemos valores de: almidón de papa 66⁰C (Alvis et al., 2008); para almidón de malanga entre 56-67⁰C (Lindeboom et al., 2004); para almidón de yuca 62⁰C (Alvis et al., 2008).

DOSIFICACIÓN DE ADITIVOS

Se realizaron las combinaciones requeridas en función del diseño planteado, estableciéndose los factores y sus respectivas variaciones de porcentaje de concentración, deben mencionarse que cada experimento se repitió tres veces, se expone en el cuadro siguiente:

Cuadro 45: Combinaciones experimentales

A1	A2	A3
A1B1C1	A2B1C1	A3B1C1
A1B1C2	A2B1C2	A3B1C2
A1B1C3	A2B1C3	A3B1C3
A1B2C1	A2B2C1	A3B2C1
A1B2C2	A2B2C2	A3B2C2
A1B2C3	A2B2C3	A3B2C3
A1B3C1	A2B3C1	A3B3C1
A1B3C2	A2B3C2	A3B3C2
A1B3C3	A2B3C3	A3B3C3

Fuente: González, J. 2016

Donde:

A1 (5%), **A2** (10%), **A3** (15%): concentraciones de glicerina en el experimento.

B1 (5%), **B2** (10%), **B3** (15%): concentraciones de alcohol polivinílico (PVA) en el experimento.

C1 (0,5%), **C2** (1%), **C3** (2%): concentraciones de hidroxietilcelulosa (HEC) en el experimento.

A continuación se muestran los resultados de los ensayos aplicados a los polímeros obtenidos en función de las combinaciones expuestas anteriormente:

Cuadro 46: Ensayos físicos y de resistencia del polímero

COMBINACIÓN	DENSIDAD g/cm ³	DUREZA shore A	ESFUERZO MÁXIMO (MP)	ELASTICIDAD (MP)
A1B1C1R1	1,02	52,30	0,25	1,10
A1B1C1R2	1,05	52,50	0,22	1,10
A1B1C1R3	1,06	51,60	0,25	1,20
A1B1C2R1	1,06	53,80	0,26	1,15
A1B1C2R2	1,10	54,20	0,30	1,20
A1B1C2R3	1,12	54,10	0,26	1,20
A1B1C3R1	1,11	54,30	0,23	1,30
A1B1C3R2	1,15	55,20	0,27	1,32
A1B1C3R3	1,12	55,10	0,26	1,25
A1B2C1R1	1,13	60,30	0,50	1,30
A1B2C1R2	1,11	58,70	0,60	1,32
A1B2C1R3	1,10	58,90	0,65	1,26
A1B2C2R1	1,12	59,70	0,65	1,30
A1B2C2R2	1,13	60,20	0,67	1,28
A1B2C2R3	1,12	61,10	0,64	1,31
A1B2C3R1	1,10	59,40	0,70	1,24
A1B2C3R2	1,10	59,80	0,71	1,30
A1B2C3R3	1,17	60,00	0,71	1,40
A1B3C1R1	1,10	63,60	0,89	1,34
A1B3C1R2	1,12	65,60	0,91	1,32
A1B3C1R3	1,12	66,20	0,90	1,33
A1B3C2R1	1,13	67,30	0,92	1,32
A1B3C2R2	1,12	65,40	0,94	1,34
A1B3C2R3	1,11	66,50	0,87	1,28
A1B3C3R1	1,13	65,40	0,91	1,32
A1B3C3R2	1,12	66,70	0,89	1,29
A1B3C3R3	1,12	67,30	0,93	1,34

Fuente: González, J. 2016.

(R1, R2, R3, representan las repeticiones de cada ensayo)

Cuadro 47: Ensayos físicos y de resistencia del polímero

COMBINACIÓN	DENSIDAD g/cm ³	DUREZA shore A	ESFUERZO MÁXIMO (MP)	ELASTICIDAD (MP)
A2B1C1R1	1,20	50,30	1,20	1,90
A2B1C1R2	1,20	49,50	1,20	1,95
A2B1C1R3	1,21	48,90	1,25	1,92
A2B1C2R1	1,20	45,60	1,29	1,93
A2B1C2R2	1,21	46,30	1,30	1,95
A2B1C2R3	1,22	46,30	1,32	1,99
A2B1C3R1	1,23	46,70	1,34	1,96
A2B1C3R2	1,22	46,90	1,31	1,89
A2B1C3R3	1,20	47,10	1,32	1,95
A2B2C1R1	1,20	44,40	1,30	1,96
A2B2C1R2	1,21	44,50	1,34	1,90
A2B2C1R3	1,22	45,60	1,33	1,90
A2B2C2R1	1,21	43,40	1,36	1,93
A2B2C2R2	1,20	44,00	1,45	1,91
A2B2C2R3	1,20	44,30	1,40	1,05
A2B2C3R1	1,19	43,50	1,50	1,93
A2B2C3R2	1,20	45,00	1,49	1,96
A2B2C3R3	1,19	44,90	1,51	1,94
A2B3C1R1	1,20	43,70	1,70	1,90
A2B3C1R2	1,21	43,00	1,75	1,95
A2B3C1R3	1,21	42,60	1,73	1,95
A2B3C2R1	1,22	41,50	1,80	1,96
A2B3C2R2	1,22	42,20	1,79	1,99
A2B3C2R3	1,22	44,50	1,82	1,97
A2B3C3R1	1,19	40,40	1,90	1,95
A2B3C3R2	1,21	41,20	1,89	1,95
A2B3C3R3	1,22	42,30	1,88	1,96

Fuente: González, J. 2016.

(R1, R2, R3, representan las repeticiones de cada ensayo)

Cuadro 48: Ensayos físicos y de resistencia del polímero

COMBINACIÓN	DENSIDAD g/cm ³	DUREZA shore A	ESFUERZO MÁXIMO (MP)	ELASTICIDAD (MP)
A3B1C1R1	1,30	38,00	1,00	2,30
A3B1C1R2	1,29	39,20	1,89	2,40
A3B1C1R3	1,28	35,40	1,90	2,10
A3B1C2R1	1,28	36,50	1,93	2,20
A3B1C2R2	1,26	35,00	1,90	2,30
A3B1C2R3	1,25	32,40	1,92	2,20
A3B1C3R1	1,26	34,00	1,97	2,10
A3B1C3R2	1,23	32,80	1,95	2,25
A3B1C3R3	1,24	34,00	1,95	2,23
A3B2C1R1	1,25	31,70	1,93	2,10
A3B2C1R2	1,26	32,60	1,95	2,30
A3B2C1R3	1,23	32,30	1,96	2,30
A3B2C2R1	1,25	33,00	1,99	2,00
A3B2C2R2	1,24	32,90	1,98	2,20
A3B2C2R3	1,24	32,50	2,10	2,10
A3B2C3R1	1,25	32,40	2,00	2,30
A3B2C3R2	1,26	31,90	2,10	2,20
A3B2C3R3	1,24	31,60	2,00	2,30
A3B3C1R1	1,23	32,00	1,98	2,30
A3B3C1R2	1,25	33,20	1,98	2,40
A3B3C1R3	1,26	30,20	1,99	2,20
A3B3C2R1	1,22	30,60	2,00	2,30
A3B3C2R2	1,26	32,30	2,10	2,30
A3B3C2R3	1,27	32,70	2,20	2,40
A3B3C3R1	1,24	32,40	2,60	2,30
A3B3C3R2	1,24	31,00	2,80	2,20
A3B3C3R3	1,26	31,20	2,90	2,30

Fuente: González, J. 2016.

(R1, R2, R3, representan las repeticiones de cada ensayo)

Cuadro 49: Promedios de ensayos físicos y de resistencia del polímero

COMBINACIÓN	DENSIDAD	DUREZA	ESFUERZO MÁXIMO	ELASTICIDAD
	g/cm ³	shore A	(MP)	(MP)
A1....	1,11	59,82	0,60	1,27
A2....	1,21	44,76	1,50	1,91
A3....	1,25	33,10	2,04	2,24

Fuente: González, J. 2016.

A continuación se muestran los resultados de las pruebas de biodegradabilidad aplicadas al polímero obtenido.

Cuadro 50: Ensayos de biodegradabilidad

COMBINACIÓN	% incremento masa	% incremento dimensional	apariciencia
A1B1C1R1	90	30	consistente
A1B1C1R2	100	33	consistente
A1B1C1R3	95	34	consistente
A1B1C2R1	110	33	consistente
A1B1C2R2	90	35	consistente
A1B1C2R3	95	35	consistente
A1B1C3R1	96	36	consistente
A1B1C3R2	95	32	consistente
A1B1C3R3	100	35	consistente
A1B2C1R1	100	36	consistente
A1B2C1R2	96	37	consistente
A1B2C1R3	90	35	consistente
A1B2C2R1	95	33	consistente
A1B2C2R2	97	34	consistente
A1B2C2R3	96	36	consistente
A1B2C3R1	95	34	consistente
A1B2C3R2	90	35	consistente
A1B2C3R3	95	35	consistente
A1B3C1R1	93	36	consistente
A1B3C1R2	95	33	consistente
A1B3C1R3	90	34	consistente
A1B3C2R1	100	35	consistente
A1B3C2R2	97	33	consistente
A1B3C2R3	94	34	consistente
A1B3C3R1	97	34	consistente
A1B3C3R2	93	37	consistente
A1B3C3R3	90	36	consistente

Fuente: González, J. 2016.

(R1, R2, R3, representan las repeticiones de cada ensayo)

Cuadro 51: Ensayos de biodegradabilidad

COMBINACIÓN	% incremento masa	% incremento dimensional	apariciencia
A2B1C1R1	110	52	Consistencia media
A2B1C1R2	125	55	Consistencia media
A2B1C1R3	120	51	Consistencia media
A2B1C2R1	120	54	Consistencia media
A2B1C2R2	130	50	Consistencia media
A2B1C2R3	125	53	Consistencia media
A2B1C3R1	120	54	Consistencia media
A2B1C3R2	115	55	Consistencia media
A2B1C3R3	115	56	Consistencia media
A2B2C1R1	116	51	Consistencia media
A2B2C1R2	119	52	Consistencia media
A2B2C1R3	116	56	Consistencia media
A2B2C2R1	120	57	Consistencia media
A2B2C2R2	125	55	Consistencia media
A2B2C2R3	121	50	Consistencia media
A2B2C3R1	120	54	Consistencia media
A2B2C3R2	124	55	Consistencia media
A2B2C3R3	125	56	Consistencia media
A2B3C1R1	123	55	Consistencia media
A2B3C1R2	127	54	Consistencia media
A2B3C1R3	120	54	Consistencia media
A2B3C2R1	120	53	Consistencia media
A2B3C2R2	123	51	Consistencia media
A2B3C2R3	122	50	Consistencia media
A2B3C3R1	126	56	Consistencia media
A2B3C3R2	125	54	Consistencia media
A2B3C3R3	120	54	Consistencia media

Fuente: González, J. 2016.

(R1, R2, R3, representan las repeticiones de cada ensayo)

Cuadro 52: Ensayos de biodegradabilidad

COMBINACIÓN	% incremento masa	% incremento dimensional	apariciencia
A3B1C1R1	150	65	Consistencia media
A3B1C1R2	155	67	Consistencia media
A3B1C1R3	159	68	Consistencia media
A3B1C2R1	152	67	Consistencia media
A3B1C2R2	160	66	Consistencia media
A3B1C2R3	162	63	Consistencia media
A3B1C3R1	160	70	Consistencia media
A3B1C3R2	156	72	Consistencia media
A3B1C3R3	160	70	Consistencia media
A3B2C1R1	165	71	Consistencia media
A3B2C1R2	159	69	Consistencia media
A3B2C1R3	160	69	Consistencia media
A3B2C2R1	165	70	Consistencia media
A3B2C2R2	166	71	Consistencia media
A3B2C2R3	165	73	Consistencia media
A3B2C3R1	166	75	Consistencia media
A3B2C3R2	165	74	Consistencia media
A3B2C3R3	165	72	Consistencia media
A3B3C1R1	163	73	Consistencia media
A3B3C1R2	168	70	Consistencia media
A3B3C1R3	170	73	Consistencia media
A3B3C2R1	167	71	Consistencia media
A3B3C2R2	168	72	Consistencia media
A3B3C2R3	167	73	Consistencia media
A3B3C3R1	165	70	Consistencia media
A3B3C3R2	164	70	Consistencia media
A3B3C3R3	160	71	Consistencia media

Fuente: González, J. 2016.

(R1, R2, R3, representan las repeticiones de cada ensayo)

Cuadro 53: Promedio de ensayos de biodegradabilidad

COMBINACIÓN	%incremento de masa	%incremento dimensional	Apariencia
A1....	95,33	34,44	Consistente
A2....	121,19	53,59	Consistencia media
A3....	162,30	70,19	Consistencia media

Fuente: González, J. 2016.

En cuanto a los resultados de los ensayos de estabilidad frente al agua y gradientes térmicos aplicados al polímero obtenido se establece que:

ESTABILIDAD FRENTE AL AGUA

El comportamiento del polímero al contacto con el agua a temperatura ambiente es de alta estabilidad cuando es sometido al contacto con pequeñas cantidades del líquido y en tiempos menores a 30 minutos, pero poco a poco absorbe agua y transcurridas las primeras 2 horas empieza a disgregarse de manera constante, finalmente, transcurridas alrededor de 4 horas la disgregación es acelerada.

Para mayor contenido de Glicerina, PVA y HEC se vuelve más resistente al ataque del agua duplicándose y hasta triplicándose el tiempo de estabilidad en ensayos con iguales cantidades de agua. Esto puede atribuirse a que son sustancias repelentes al agua que al final protegen al polímero del proceso progresivo de absorción de agua. Estos plastificantes disminuyen la absorción de agua en el almidón lo cual evita que el material se vuelva frágil. Además, la propiedades mecánicas (esfuerzo y elongación) pueden mantener relativamente constantes según Bernal et al., 2005; Fang, *et al.*, 2002; Follain, *et al.*, 2005; Ma y Yu, 2004; Ma, *et al.*, 2007; Myllärinen *et al.*, 2002b; Orts, *et*

al., 2007; Shi, *et al.*, 2007; Smits *et al.*, 2003; Van Soest, *et al.*, 1996c; Wilpiszewska y Spsychaj, 2007.

En los ensayos de estabilidad frente al agua también se apreció la presencia de partículas desprendidas de las láminas en función del tiempo se atribuye a los procesos de retrogradación propios de los almidones tal como lo explica Van Soest *et al.*, 1996a; Van Soest y Vliegenthart, 1997; Myllärinen *et al.*, 2002a; Zhang *et al.*, 2007. “..La retrogradación afecta entonces las propiedades mecánicas, el esfuerzo aumenta y la elongación disminuye afectando la calidad del bioplástico”

Cabe destacar que al incrementar la temperatura del agua utilizada en los ensayos el proceso también se acelera.

ENSAYOS FRENTE A GRADIENTES DE TEMPERATURA

La temperatura actúa como deshidratante, la pérdida de masa se atribuye únicamente proceso de secado. En todos los ensayos se observó que las láminas de polímero preparadas para la experimentación perdían poco a poco sus propiedades plastificantes y elasticidad volviéndose cada vez más duras y quebradizas. Todo este fenómeno es atribuible a la deshidratación y transición vítrea que sufren los almidones al ser expuestos a temperaturas altas. En los ensayos de estabilidad térmica no se rebasaron los 70 °C. Para que ocurra esta transición, se requiere una temperatura entre 60-75°C y un porcentaje de agua mayor al 30% en solución (Pineda-Gómez *et al.*, 2010).

De acuerdo a Sandoval *et al.*, (2005) la gelatinización del almidón permite cambiar la forma cristalina de los gránulos a una forma eventualmente amorfa y digerible, ocurriendo cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y la disrupción de estas estructuras.

ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza aplicado a los resultados de las mediciones de propiedades funcionales del polímero biodegradable obtenido muestran que cada propiedad estudiada tiene diferencias significativas en función del porcentaje de ingrediente aditivo en el polímero, es decir las propiedades se alteran en función de la concentración usada, esta característica permite seguir manejando las dosificaciones para ajustar al polímero a diferentes usos. A continuación se muestran las propiedades cuyos análisis son significativos:

Cuadro 54: Análisis de varianza para propiedades del polímero

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	significancia
A (Glicerina)	9689,39	2	4844,69	5359,47	<0,0001	**
B (PVA)	26,41	2	13,2	14,61	<0,0001	**
C (HEC)	3,83	2	1,92	2,12	0,13	ns
AxB	841,30	4	210,33	232,67	<0,0001	**
AxC	34,12	4	8,53	9,44	<0,0001	**
BxC	9,91	4	2,48	2,74	0,0378	*
AXBXC	21,97	8	2,75	3,04	0,0068	*
Error	48,81	54	0,9			
Total	10675,75	80				
C.V.	2,07					

Fuente: González, J. 2016

*significativo; **altamente significativo; ^{ns} no significativo

Claramente en la figura anterior, los dobles asteriscos a la derecha (**) muestran que son altamente significativas las diferencias y solamente en el caso de la cantidad de HEC no tiene importancia.

La prueba de DMS al 5% muestra que las medias de las repeticiones de los ensayos con diferentes concentraciones de aditivos muestran diferencias significativas en los casos que se exponen en las tablas siguientes:

Cuadro 55: Prueba DMS al 5% para aditivos del polímero (Glicerina)

GLICERINA	Medias	RANGO
3	33,10	A
2	44,76	B
1	59,82	C

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos tres rangos, en donde A con una media de 33,10%; B con una media de 44,76% y C con una media de 59,82%, en función de la cantidad de glicerina adicionada al polímero.

Cuadro 56: Prueba DMS al 5% para aditivos del polímero (PVA)

PVA	Medias	RANGO
3	45,48	A
2	45,50	A
1	46,70	B

Fuente: González, J. 2016

Según la prueba DMS, tenemos dos rangos, en donde A con una media aproximada de 45% y B con una media de 46,70% en función de la cantidad de glicerina adicionada al polímero.

En la siguiente figura se observan la interacción entre el aditivo Glicerina y PVA que marcaron diferencias significativas en los resultados.

Cuadro 57: Prueba DMS al 5% para aditivos del polímero (Glicerina-PVA)

Glicerina	PVA	Medias	RANGO
3	3	31,70	A
3	2	32,33	A
3	1	35,26	B
2	3	42,38	C
2	2	44,40	D
2	1	47,51	E
1	3	53,68	F
1	2	59,79	G
1	1	66,00	H

Fuente: González, J. 2016

En la siguiente figura se observan la interacción entre el aditivo Glicerina y HEC que marcaron diferencias significativas en los resultados.

Cuadro 58: Prueba DMS al 5% para aditivos del polímero (Glicerina-HEC)

Glicerina	HEC	Medias	RANGO
3	3	32,37	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div>A</div> <div>A B</div> <div>B</div> <div>C</div> <div>C</div> <div>D</div> <div>E</div> <div>E F</div> <div>F</div> </div>
3	2	33,10	
3	1	33,84	
2	3	44,22	
2	2	44,23	
2	1	45,83	
1	3	58,86	
1	2	60,26	
1	1	60,36	

Fuente: González, J. 2016

En la siguiente figura se observan la interacción entre el aditivo PVA y HEC que marcaron diferencias significativas en los resultados.

Cuadro 59: Prueba DMS al 5% para aditivos del polímero (Glicerina-HEC)

PVA	HEC	Medias	RANGO
1	2	44,91	A
1	3	45,12	A B
2	3	45,39	A B C
2	1	45,44	A B C
2	2	45,68	A B C D
1	1	46,41	B C D
3	3	46,43	B C D
3	1	46,68	C D
3	2	47,00	D

Fuente: González, J. 2016

En la siguiente figura se observan la interacción entre los tres aditivos de manera conjunta, Glicerina, PVA y HEC que marcaron diferencias significativas en los resultados.

Cuadro 60: Prueba DMS al 5% para aditivos del polímero (Glic-PVA-HEC)

Gli	PVA	HEC	Medias	RANGO
3	3	3	31,53	A
3	3	1	31,8	A B
3	3	2	31,87	A B
3	2	3	31,97	A B
3	2	1	32,2	A B
3	2	2	32,8	A B
3	1	3	33,6	A B
3	1	2	34,63	B C
3	1	1	37,53	C
2	3	3	41,3	D
2	3	2	42,73	D E
2	3	1	43,1	D E F
2	2	2	43,9	D E F G
2	2	3	44,47	E F G
2	2	1	44,83	E F G
2	1	2	46,07	F G
2	1	3	46,9	G H
2	1	1	49,57	H I
1	1	1	52,13	I J
1	1	2	54,03	J
1	1	3	54,87	J
1	2	1	59,3	K
1	2	3	59,73	K
1	2	2	60,33	K
1	3	1	65,13	L
1	3	2	66,4	L
1	3	3	66,47	L

Fuente: González, J. 2016

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

4.2.1. El desarrollo de un polímero biodegradable a partir de almidón de semillas de ataco está relacionado con los procesos utilizados.

De acuerdo a la prueba DMS al 5% aplicada a los procesos usados para la obtención de almidón muestran claramente que el rendimiento depende del método utilizado para su extracción. Con hidróxido las medias indican 19,01% (rango A) y con agua muestran medias de 12,82% (rango B).

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

4.2.2. El método más idóneo para la obtención de almidón a partir de semillas de ataco es el de extracción con álcalis.

La prueba DMS al 5% aplicada a los procesos usados para la obtención de almidón muestra claramente que el rendimiento del proceso que utiliza una solución de hidróxido (álcali) obtuvo mayor rendimiento (19,01%), sobre el método que utiliza agua como solvente (12,82%).

4.2.3. Las características físico-químicas del almidón obtenido a partir de las semillas de ataco son similares a las de otras plantas.

Solamente existe similitud en los valores resaltados en algunos parámetros, cabe recalcar que de acuerdo a la fuente consultada para la comparación, los

métodos de extracción de almidón para otras plantas no son los mismos en todos los casos y el almidón proviene plantas y de partes diferentes.

Cuadro 61: Análisis proximal del almidón de ataco, makal, camote, yuca, sagú, maíz, papa.

CONTENIDO	ATACO*	MAKAL**	CAMOTE**	YUCA**	SAGÚ**	MAÍZ**	PAPA**
Humedad (%)	10,46-13,77	8,99	9,83	9,48	10,50	9,90	19,00
Proteína cruda (%)	2,59-3,76	0,16	0,22	0,06	0,64	0,10	0,06
Grasa cruda (%)	0,8-2,22	0,19	0,31	0,20	0,36	0,35	0,05
Fibra cruda (%)	2,02-2,84	0,35	0,28	0,01	0,06	0,62	N.R
Cenizas (%)	0,06-0,23	0,12	0,26	0,29	0,22	0,06	0,40

Fuente: *González, J. 2016; **Betancur, et al., 2001.

4.2.4. Las características del polímero resultante dependen de la dosis de aditivos.

Los resultados de los ensayos físicos y de resistencia, tales como: densidad, dureza, esfuerzo máximo y elasticidad del polímero obtenido (cuadros 45, 46 y 47), al igual que la prueba DMS al 5% (cuadro 57), evidencian la dependencia de las características del polímero con la dosificación de los aditivos para obtenerlo, la presencia de los rangos A, D, K, L, lo manifiestan.

4.2.5. Las propiedades físico-químicas y mecánicas del polímero obtenido y su estabilidad frente a cambios de temperatura y frente al agua determinan su biodegradabilidad.

Ensayos de estabilidad realizados a láminas de polímero frente al agua mostraron que en función del tiempo hay mayor absorción de agua perdiendo consistencia; frente a gradientes de temperatura provocan la pérdida de propiedades plastificantes y elasticidad volviéndose cada vez más duras y quebradizas. *Lo que puede traducirse como aumento de la biodegradabilidad.*

CONCLUSIONES

- ❖ El método más idóneo para la obtención de almidón a partir de semillas de ataco, utiliza una solución de hidróxido de sodio como solvente, lográndose un rendimiento de aproximadamente 19% por cada 100 gramos de harina, mientras que el rendimiento de extracción con agua solo alcanza un 13 %.
- ❖ Las características físicas y químicas medidas en el almidón varían en función del método utilizado, la humedad es mayor al extraer con álcali llegando a un 13,61% vs 10,64 % con agua; el contenido de almidón alcanza el 90,49 % al extraer con álcali vs 88,34 % con agua; la grasa en extracción con agua alcanza 2,20 % vs 0,82 % con álcali; el contenido de proteínas en la extracción con agua alcanza 3,67 % vs 2,63% con álcali; la cenizas en la extracción con agua alcanza un 0,21 % vs 0,07% con álcali; el contenido de fibra en la extracción con agua alcanza 2,81 % vs 2,1% con álcali.
- ❖ Se requiere dosificar aditivos para que el almidón adquiera características deseables de polímero biodegradable, como: humectación (agua), plasticidad (PVA), lubricación (aceite de soya), claridad (NaCl); capacidad extensora (HEC), en función de la aplicación y uso que se pretenda dar.
- ❖ Se encontró que las proporciones Glicerina 5%-PVA 15%-HEC 2% agregadas al almidón reportaron las mayores durezas de aproximadamente 65 (shore A); el esfuerzo máximo obtuvo mayores valores en las combinaciones Glicerina 15%-PVA 15%-HEC 2% con 2,7 (MP); la mayor elasticidad se observó con combinaciones de Glicerina

10%-PVA 15%-HEC 2% con 1,97 (MP); el mayor incremento dimensional se observó en las combinaciones Glicerina 15%-PVA 15%-HEC 2% con un aumento promedio de (70%); en las determinaciones de densidad y de incremento de masa se puede decir que no obedecieron a las dosificaciones ya que no existieron patrones definidos. Sin embargo, al exponer a las láminas de polímero a temperaturas elevadas éstas sufren transición vítrea endureciéndose y volviéndose quebradizas, perdiendo sus características deseadas, manifestando su vulnerabilidad ante el calor, al exponer las láminas al agua se observa la pérdida paulatina de consistencia, evidenciándose su degradabilidad.

RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar ensayos de extracción con soluciones más diluidas de álcali para mejorar el rendimiento en la obtención de almidón de ataco.
- ❖ Utilizar aditivos 100% naturales para obtener un polímero biodegradable que tenga la inocuidad necesaria para poder utilizado para consumo humano o animal.
- ❖ Utilizar métodos adicionales para la extracción de almidón, con solventes de diferente naturaleza y procesos de centrifugación para su aislamiento, así como realizar la extracción de almidón de otras especies de amaranto buscando mejorar el rendimiento obtenido.
- ❖ Por las características físico-mecánicas del polímero desarrollado, se recomienda realizar ensayos combinado adecuadamente el polímero desarrollado con polímeros sintéticos para analizar los procesos de degradación, así como, investigar más profundamente la dosificación de aditivos al almidón ya que es posible preestablecer características en función de la utilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agustiniano, J., González, E., Flores, N., Manríquez, L. (2005). Resistant starch production from mango starch using a single-screw extruder, *J. Food Sci. Agriculture*. V.85:245-281.

Alvis M., Vélez C., Villada H. y Mendoza M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*. Volumen 19 No1, p. 19-28.

American Association of Cereal Chemists. *Approved methods of the American Association of Cereal Chemists*.(1995), St. Paul, Mn., USA.

Anderson R., Conway B. y Peplinski B. (1969). Gelatinization of corn grifts by roll and extrusion cooking. *Cereal ScienceToday*. Volumen14, p.4-12.

Araujo V., Rincón C. y Padilla A. (2004). Caracterización del almidón de *Dioscorea bulbifera* L. *Revista Scielo*. Volumen 54 No 2, p. 241-245.

Association of Official Agricultural Chemists, AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. Ass Agric. Chem. 15th edition. Washington, DC.

Bello P., L. A., Contreras R., S. M., Romero M., R., Solorza F., J. y Jiménez A., A. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *musa paradisiaca* L. (Var. Macho). *Agrociencia*. Volumen 36 No. 2, p. 169-180.

Beta, T., H. Corke, L.W. Rooney y J. Taylor. 2000. Starch properties as affected by sorghum grain chemistry. *J. Food Sci. Agriculture*.81:2105-2110.

Betancourt, D., et al. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*. Vol-28, No 3. Campinas July/Sept 2008.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A y Smith, F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*, 28:3:350-356

Food and Agriculture Organization, FAO. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, p. 33-40, 44-50.

Fernández, E. 1998. *Aprovechamiento integral del mango*. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Arias, F. 2012. *El Proyecto de Investigación*. Episteme. Caracas, Venezuela.

Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. México D. F.: McGraw-Hill, 571 p.

Hart, F. L., (1991). *Análisis moderno de los alimentos*; Acribia. Zaragoza, España.

Hernández, M. (2008). *Caracterización físico-química de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México*. 718-725p

Imberty A., Chanzy H. y Pérez S. (1988). The double helical nature of the crystalline part of Astarch. *Journal of Molecular Biology*. Volumen 201 No 2, p. 365-378.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. (2009), *Amaranto y Ataco: preguntas y respuestas*. Boletín Divulgativo No. 359. Segunda impresión. Quito, Ecuador. Peralta, I.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, (1994), “INIAP-ALEGRÍA”. Primera variedad mejorada de amaranto para la sierra ecuatoriana. *Boletín Divulgativo* No. 246. Programa de Cultivos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Quito, Ecuador. 24 p. Monteros, C., C. Nieto., C. Caicedo., M. Rivera., C. Vimos.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP (1989), El cultivo del amaranto *Amaranthus* spp, una alternativa agronómica para Ecuador. Publicación miscelánea No. 52. Programa de Cultivos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 28 p. Nieto, C.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP-PRONALEG, (2010). El Amaranto en el Ecuador, “Estado del Arte”. Quito, Ecuador, Peralta, E.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP (2010). INIAP Alegría. Variedad mejorada de amaranto. *Amaranthus caudatus* L. Plegable *Divulgativo* No 346. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. Peralta, E.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. (2009). Manual Agrícola de Granos Andinos: Chocho, Quinoa, Amaranto y Ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. *Manual* No. 69. Segunda impresión.

Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 71 p. Peralta, E., N. Mazón, A. Murillo, M. Rivera, C. Monar.

International Fund for Agricultural Development (IFAD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (2004). Global cassava market

study. Business opportunities for the use of cassava. Proceedings of the validation forum on the global cassava development strategy. Volumen 6. Roma.

Kirk R.S., Sawyer R.; *Pearson's Composition and Analysis of Food*, Ninth Edition; Longman Scientific & Technical, Singapore 1991.

Lindeboom N., Chang P. y Tyler R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review, *Starch*. Volumen 56 No 3, p. 89-99.

Medina O., Pérez J. y Bernal M. (2007). *Extracción del almidón de la malanga (escolocasia esculenta) y síntesis de biopolímeros*, Versión 1. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Meneses, J. *et al.*, (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, Número 8, p. 57-67.

Nieto, C. (1989). El cultivo del Amaranto, *Amaranthus spp*, una alternativa agronómica para el Ecuador. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Cultivos Andinos. *Publicación Miscelánea no. 52*.

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE. INEN 0520:2013/Determinación de Cenizas.

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE. INEN 0522:81/ Determinación de Fibra cruda.

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE. INEN 0524:2013/Determinación de almidón.

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE. INEN ISO 20483:2013/Determinación de proteína bruta.

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE. INEN ISO 7971-1:2013/Determinación de Densidad.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (1977), *Elaboración de la yuca*, Roma. 116 pp. Grace, M.R.

Ruíz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista Ingeniería y Ciencia*. Universidad EAFIT. 2(4): 5-28.

Torres, A. et al., (2013). Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga. *Revista Ciencias e Ingeniería al Día*, 2013, 8(2).

VILLADA, H., ACOSTA, H. y VELASCO, R. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *Información Tecnológica* Vol. 19(2), 2008, p. 3-14.

Yuryev, V. et al., (1995). Expansion ratio of extrudates prepared from potato starch-soybean protein mixtures. *Carbohydrate polymers*.

ANEXOS

ANEXO 1. Diámetro y densidad de semillas de ataco.

ANEXO 2. Norma, Determinación de humedad.

ANEXO 3. Norma, Determinación de cenizas.

ANEXO 4. Norma, Determinación de fibra cruda.

ANEXO 5. Norma, Determinación de almidón.

ANEXO 1.

MEDICIÓN	TAMAÑO SEMILLA (mm)	DENSIDAD SEMILLAS g/cc
M1	0,9	0,698
M2	1	0,6829
M3	0,9	0,7399
M4	0,9	0,6734
M5	0,7	0,7123
M6	0,9	0,689
M7	0,8	0,6545
M8	0,9	0,7013
M9	1	0,6967
Promedio	0,9	0,69

Fuente: González, J. 2016

ANEXO 2

INSTITUTO DE SALUD PUBLICA DE CHILE SUBDEPTO. LABORATORIOS DEL AMBIENTE	SECCION QUIMICA DE ALIMENTOS
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Método de la estufa de aire	PRT-701.02-023 Rev. N°: 0 Pág: 1 de 2

1.- OBJETIVO

Determinar el contenido de agua de la muestra.

2.- ALCANCE Y CAMPO DE APLICACIÓN

El método es aplicable a alimentos sólidos, líquidos o pastosos no susceptibles a degradación al ser sometidos a temperaturas superiores a 105 °C. Este método es inadecuado para productos ricos en sustancias volátiles distintas del agua.

3.- FUNDAMENTO

El método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa, de la muestra desecada hasta masa constante en estufa de aire.

4.- REFERENCIAS

- 4.1 Instituto Nacional de Normalización, NCh 841 of 78
- 4.2 Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition 1990

5.- TERMILOGIA

N/A

6.- MATERIAL Y EQUIPO

- 6.1.- Balanza analítica, sensibilidad 0.1 mg
- 6.2.- Cápsulas de vidrio, porcelana o metálica, con tapa
- 6.3.- Desecador con deshidratante adecuado
- 6.4.- Estufa regulada a 103 ± 2 °C
- 6.5.- Material usual de laboratorio

7.- PROCEDIMIENTO

- 7.1.- Efectuar el análisis en duplicado
- 7.2.- Colocar la cápsula destapada y la tapa durante al menos 1 hora en la estufa a la temperatura de secado del producto.

INSTITUTO DE SALUD PUBLICA DE CHILE SUBDEPTO. LABORATORIOS DEL AMBIENTE	SECCION QUIMICA DE ALIMENTOS
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Método de la estufa de aire	PRT-701.02-023 Rev. N°: 0 Pág: 2 de 2

- 7.3.- Empleando pinzas, trasladar la cápsula tapada al desecador y dejar enfriar durante 30 a 45 min. Pesar la cápsula con tapa con una aproximación de 0.1 mg. Registrar (m_1).
- 7.4.- Pesar 5 g de muestra previamente homogeneizada. Registrar (m_2).
- 7.5.- Colocar la muestra con cápsula destapada y la tapa en la estufa a la temperatura y tiempo recomendado 105 °C x 5 horas.
- 7.6.- Tapar la cápsula con la muestra, sacarla de la estufa, enfriar en desecador durante 30 a 45 min.
- 7.7.- Repetir el procedimiento de secado por una hora adicional, hasta que las variaciones entre dos pesadas sucesivas no excedan de 5 mg (m_3).

8.- CALCULO Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

La humedad del producto expresada en porcentaje, es igual a:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100$$

donde:

m_1 : masa de la cápsula vacía y de su tapa, en gramos

m_2 : masa de la cápsula tapada con la muestra antes del secado, en gramos

m_3 : masa de la cápsula con tapa más la muestra desecada, en gramos

Promediar los valores obtenidos y expresar el resultado con dos decimales.

Repetibilidad: La diferencia de los resultados no debe ser superior al 5% del promedio.

En el informe de resultado, se indicará método utilizado, identificación de la muestra, temperatura, tiempo de secado y resultado promedio obtenido de las muestras en duplicado.

ANEXO 3

INSTITUTO DE SALUD PUBLICA DE CHILE SUBDEPARTAMENTO LABORATORIOS DEL AMBIENTE	SECCION QUÍMICA DE ALIMENTOS
PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR FIBRA CRUDA Método gravimétrico	PRT-701.03-018 Rev N° : 1 Pagina 1 de 3

1.0. OBJETIVO

Determinar fibra cruda en diversos tipos de alimentos.

2.0. CAMPO DE APLICACION

El método es aplicable a granos, platos preparados, harinas, alimentos para animales, materiales que contienen fibra de los cuales la grasa ha sido extraída para dejar un residuo adecuado.

3.0. FUNDAMENTO

Fibra cruda es la pérdida de masa que corresponde a la incineración del residuo orgánico que queda después de la digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio en condiciones específicas.

4.0. REFERENCIAS

- 4.1.- Official Methods of Analysis. A.O.A.C. 15th Edition. U.S.A. (1990).
- 4.2.- Manuals of food quality control. FAO Food Nutrition Paper 14/7. Roma (1986).

5.0. TERMINOLOGIA

- 5.1. N.A.

6.0. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

6.1. Materiales y Equipos

- 6.1.1. Aparato de calentamiento a reflujo.
- 6.1.2. Balanza analítica, sensibilidad 0,1 mg.
- 6.1.3. Crisoles de porcelana o de sílica.
- 6.1.4. Desecador con deshidratante adecuado (silicagel con indicador u otro).
- 6.1.5. Dispositivo de succión al vacío.
- 6.1.6. Embudo Büchner de polipropileno tipo California u otra alternativa equivalente.
- 6.1.7. Estufa a 103 ± 2 °C.
- 6.1.8. Tamiz de malla 1 mm.
- 6.1.9. Placa calefactora capaz de llevar 200 ml de agua a 25 °C. Hasta ebullición en 15 ± 2 min.
- 6.1.10. Material usual de laboratorio.

6.2. Reactivos

- 6.2.1. Solución de ácido sulfúrico 0.255 N (1.25 g de H₂SO₄ / 100 ml). La concentración debe ser chequeada por titulación.

INSTITUTO DE SALUD PUBLICA DE CHILE SUBDEPARTAMENTO LABORATORIOS DEL AMBIENTE	SECCION QUÍMICA DE ALIMENTOS
PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR FIBRA CRUDA Método gravimétrico	PRT-701.03-018 Rev N° : 1 Pagina 2 de 3

6.2.2. Solución de hidróxido de sodio 0.313 N (1,25 g de NaOH / 100 de agua libre de Na₂CO₃). La concentración debe ser chequeada por titulación.

6.2.3. Fibra cerámica: Cerafiber, 8 lb/cu ft. Colocar 60 g en una juguera, agregar 800 ml de agua y mezclar por un minuto a baja velocidad. Determinar el blanco tratando aproximadamente 2 g (peso seco) de la fibra cerámica preparada con ácido y álcalis como en la determinación (6.2), Corregir los resultados de fibra cruda por el blanco, el cual debe ser insignificante (aproximadamente 2 mg).

6.2.4. Silicona Antiespumante.

6.2.5. Etanol al 95%..

6.2.6. Éter de petróleo, P.E. 40 – 60 °C.

7.0. DESARROLLO DEL PROCESO

7.1. Preparación de la muestra

7.1.1. Homogeneizar, secar 103 ± 2 °C en estufa de aire o a 70 °C al vacío, de acuerdo a las técnicas indicadas en la referencia, considerando el tipo de muestra. Moler la muestra.

7.1.2. Pasar por un tamiz de malla de 1 mm..

7.1.3. Extraer con éter de petróleo sí el contenido de grasa es superior al 1.

7.2.- Determinación

7.2.1. Realizar el análisis en duplicado.

7.2.2. Pesar a 0.1 mg alrededor de 2 g de muestra preparada y transferir en al matraz del aparato de calentamiento a reflujo. Registrar s

7.2.3. Agregar 1.5 a 2.0 g de fibra cerámica preparada.

7.2.4. Agregar 200 ml de H₂SO₄ 0.255 N, hirviendo, gotas de antiespumante y perlas de vidrio.

7.2.5. Conectar el aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente.

7.2.6. Desmontar el equipo y filtrar a través del embudo Büchner tipo California o sus alternativas.

7.2.7. Lavar con 50 a 75 ml de agua hirviendo, repetir el lavado con 3 porciones de 50 ml de agua o hasta que cese la reacción ácida.

7.2.8. Retornar el residuo al aparato de calentamiento a reflujo y hervir exactamente durante 30 minutos, rotando el matraz periódicamente.

7.2.9. Lavar con 25 ml de H₂SO₄ 0.255 N, hirviendo, con 3 porciones de 50 ml de agua hirviendo y con 25 ml de etanol al 95%.

7.2.10. Remover el residuo y transferir al crisol.

7.3.10. Secar en estufa a 130 ± 2 °C por 2 horas, enfriar en desecador y pesar.

7.3.11. Incinerar 30 minutos a 600 ± 15 °C, enfriar en desecador y pesar.

7.3.12. Determinar un blanco en las mismas condiciones que la muestra.

INSTITUTO DE SALUD PUBLICA DE CHILE SUBDEPARTAMENTO LABORATORIOS DEL AMBIENTE	SECCION QUÍMICA DE ALIMENTOS
PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR FIBRA CRUDA Método gravimétrico	PRT-701.03-018 Rev N° : 1 Pagina 3 de 3

8.0 EXPRESIÓN DE RESULTADOS

% Fibra cruda en muestra molida = $C = (\text{Pérdida de peso en la incineración} - \text{pérdida de peso del balnco de fibra cerámica}) \times 100 / \text{peso de la muestra}.$


$$\% \text{Fibra cruda (base húmeda)} = C \times \frac{100 - \% \text{ Humedad muestra original.}}{100}$$

Promediar los valores obtenidos y expresar el resultado con dos decimales.

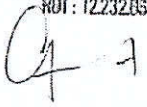
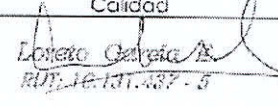
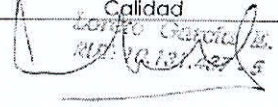
Repetibilidad: La diferencia de los resultados no deberá ser superior al 5 % del promedio.

Informar el % de fibra al 0,1 %, sobre la base de la muestra original considerando que ha sido desgrasada en el caso de contener más de 1 % de grasa.

ANEXO 4

 <small>Departamento de Investigación y Desarrollo de Alimentos</small>	Determinación Cenizas Método Gravimétrico	PROCEDIMIENTO	
		Área : Laboratorio-Control de Calidad 02	
		Fecha: 26-07-2011	
		Revisión : 0	1 de 3

Cambios del Documento

ELABORO	REVISO	APROBO
<p>Isabel Georgina Armiño Ariza Jefa de Laboratorio RUT: 12.232.667-5</p>	<p>Jefa de Laboratorio y Control de Calidad</p>	<p>Jefa de Laboratorio y Control de Calidad</p>
	 <p>Loreto García RUT: 16.131.437-5</p>	 <p>Loreto García RUT: 16.131.437-5</p>

 <i>Instituto de Desarrollo Agropecuario y Rural</i>	Determinación Cenizas Método Gravimétrico	PROCEDIMIENTO	
		Área: Laboratorio – Control de Calidad 02	
		Fecha: 26-07-2011	
		Revisión :	2 de 3

1. Propósito y Alcance:

1.1 Propósito

El objetivo del Determinar minerales totales de un producto alimenticio.

1.2 Alcance

El método es aplicable a alimentos en general, excepto a aquellos que requieran tratamiento previo a la incineración.

2. Responsables

Asistente de Laboratorio
Jefe de Control de Calidad

3. Referencias

- Official Method of Analysis A.O.A.C. 923.03 Cap 32, Pág. 2. 18th Edition 2005
- Manual Métodos de Análisis Físico-Químicos de Alimentos, aguas y suelos-Ministerio de Salud-Instituto de Salud publica de Chile 1998

4. Definiciones y Terminología

No Aplica

5. Materiales y Equipos


- Balanza Analítica, sensibilidad 0.1 mg
- Crisoles de porcelana
- Mufla regulada 0 550 +/- 25°C
- Desecador
- Espátula

6. Procedimiento Medición de Cenizas

6.1 Procedimiento

Colocar crisol limpio y seco por una hora en Mufla a 550 +/- 25°C.

- Sacar y llevar a desecador hasta enfriar
- Pesar crisol en balanza analítica registrar como C1
- Pesar entre 2 a 5 g de muestra previamente homogeneizada, registrar como C2.
- Precalcinar previamente la muestra en mechero o plancha calefactora, evitando que se inflame, luego colocar en la mufla a 550 +/- 25°C hasta cenizas blancas o grisáceas, preenfriar en mufla apagada.
- Colocar crisol en desecadora hasta enfriar.

	Determinación Cenizas Método Gravimétrico	PROCEDIMIENTO	
		Área: Laboratorio – Control de Calidad 02	
		Fecha: 26-07-2011	
		Revisión :	3 de 3

- Pesar registra como C3 en gramos

6.2 Cálculo y Expresión de Resultados

La Cenizas del producto expresada en porcentaje, es igual a:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{C3 - C1}{C2 - C1} \times 100$$

Donde:

C1 = masa del crisol vacío en gramos

C2 = masa del crisol con la muestra en gramos

C3 = masa del crisol con las cenizas en gramos

Promediar los valores obtenidos y expresar el resultado con un decimal.

Repetibilidad: La diferencia de los resultados no debe ser superior al 5% del promedio.

7 Registros

Identificación	Área	Almacenamiento	Protección	Recuperación	Retención	Disposición
- Cuaderno de Protocolo Cenizas - Cuaderno de Protocolo Ingreso de muestras	Laboratorio de Control de Calidad	Laboratorio Control de Calidad	Jefe de laboratorio de Control de Calidad	A través de los cuadernos de protocolo o bien a través de la Carpeta de laboratorio en PC.	5 años	Eliminar

8 Indicador de Gestión

No aplica

9 Anexos

No aplica



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-ISO 10520

Primera edición
2014-01

**ALMIDONES Y FÉCULAS NATIVOS. DETERMINACIÓN DEL
CONTENIDO DE ALMIDÓN. MÉTODO POLARIMÉTRICO DE EWERS.
(ISO 10520:1997, IDT)**

NATIVE STARCH. DETERMINATION OF STARCH CONTENT. EWERS POLARIMETRIC METHOD.
(ISO 10520:1997, IDT)

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional
ISO 10520:1997.

DESCRIPTORES: Almidones, féculas nativos, método polarimétrico, Ewers.
ICS: 67.180

11 Páginas

Prólogo nacional

Esta Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 10520 es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 10520:1997, "*Native starch. Determination of starch content. Ewers polarimetric method*", la fuente de la traducción es la norma adoptada por AENOR. El comité nacional responsable de esta Norma Técnica Ecuatoriana y de su adopción es el Comité Interno del INEN.

EXTRACTO

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma internacional especifica un método polarimétrico destinado a la determinación del contenido de almidón en los almidones y féculas nativos, exceptuando los almidones con un alto contenido de amilosa.

No es aplicable a almidones modificados o pregelatinizados (solubles en agua).

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se relacionan contienen disposiciones válidas para esta norma internacional. En el momento de la publicación las ediciones indicadas estaban en vigor. Toda norma está sujeta a revisión por lo que las partes que basen sus acuerdos en esta norma internacional deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las normas indicadas a continuación. Los miembros de CEI y de ISO poseen el registro de las normas internacionales en vigor en cada momento.

ISO 1666:1996 – *Almidones y féculas. Determinación del contenido en humedad. Método de desecación en estufa.*

ISO 3696:1987 – *Agua para uso en análisis de laboratorio. Especificación y métodos de ensayo.*

3 PRINCIPIO

Este método conlleva dos etapas de determinación:

3.1 Se hidroliza una parte de la muestra con ácido clorhídrico diluido y tras clarificar y filtrar, se mide polarimétricamente la rotación óptica.

3.2 Una segunda fracción de la muestra se trata con etanol al 40% (V/V) para extraer los azúcares solubles y los polisacáridos de menor peso molecular. A continuación, el filtrado es sometido al proceso descrito en el apartado 3.1.

La diferencia entre la medida obtenida según el apartado 3.1 y la obtenida según el apartado 3.2, multiplicada por un factor, proporciona el contenido de almidón de la muestra.

NOTA – Los parámetros clave del método son el tiempo y la temperatura de hidrólisis, y el correcto uso y calibración del polarímetro. Por consiguiente, el método conlleva una agitación constante en el baño de agua, que debería ser del tamaño adecuado para asegurar la subida rápida de la temperatura y la estabilidad de las condiciones de temperatura.

4 REACTIVOS

Se utilizarán exclusivamente reactivos de grado analítico reconocido, salvo que se especifique lo contrario, y agua que cumpla los requisitos de grado 2 de acuerdo con la Norma ISO 3696.

4.1 Ácido clorhídrico diluido $c(\text{HCl}) = 7,7 \text{ mol/l}$.

Se diluyen 63,7 ml de ácido clorhídrico ($\rho_{20} = 1,19 \text{ g/ml}$) añadiendo agua hasta un volumen de 100 ml.

4.2 Ácido clorhídrico diluido $c(\text{HCl}) = 0,309 \text{ mol/l}$.

Se diluyen 25,6 ml de ácido clorhídrico ($\rho_{20} = 1,19 \text{ g/ml}$) añadiendo agua hasta un volumen de 1 000 ml.

NOTA – La concentración debería verificarse con una disolución de hidróxido sódico [$c(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ mol/l}$] y rojo de metilo como indicador: 10 ml de HCl deberían consumir 30,94 ml de NaOH de 0,1 mol/l.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN-ISO 10520	TÍTULO: ALMIDONES Y FÉCULAS NATIVOS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN. MÉTODO POLARIMÉTRICO DE EWERS. (ISO 10520:1997, IDT)	Código: ICS 67.180
--	--	------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 2013-11-25	REVISIÓN: La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma Oficialización con el Carácter de por Resolución No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio:
--	---

Fechas de consulta pública: 2013-11-27 al 2013-12-12

Comité Interno del INEN:
Fecha de iniciación: 2013-12-13
Integrantes del Comité Interno:

Fecha de aprobación: 2013-12-13

NOMBRES:

Eco. Agustín Ortiz (Presidente)
Ing. José Luis Pérez
Ing. Paola Castillo
Ing. Tatiana Briones

Ing. Laura González
Ing. Bolívar Cano
Ing. Gonzalo Arteaga (Secretaría Técnica)

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

DIRECCION EJECUTIVA
COORDINACIÓN GENERAL TÉCNICO
DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN
DIRECCIÓN DE VALIDACIÓN Y
CERTIFICACIÓN
DIRECCIÓN DE METROLOGÍA
DIRECCION DE REGLAMENTACIÓN
DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

Otros trámites: Compromiso Presidencial N° 20549 del 08 de junio del 2013, para el fortalecimiento de normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial Suplemento No. 156 de 2014-01-07

Por Resolución No. 13526 de 2013-12-20

EXTRACTO

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2) 2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección Ejecutiva: E-Mail: direccion@inen.gob.ec
Dirección de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gob.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gob.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gob.ec
Regional Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gob.ec
[URL:www.inen.gob.ec](http://www.inen.gob.ec)